

Universidad Nacional de Ingeniería

UNI-RUSB



Facultad de Electrónica Y Computación

Tesis Monográfica para optar al título de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.

“Análisis del throughput en una red LTE-A con el modelo SPM calibrado y distintas estrategias del packet Scheduling”

Autores:

- ***Br. José María Gómez Rojas.***
- ***Br. Xitlaly Regina Romero Ortiz.***

Tutor:

- ***TeknL. Norman Vargas Chevez.***

***Marzo, 2018
Managua, Nicaragua***

Dedicatoria

En primer lugar, a **Dios**, que con su divino amor y protección nos concedió realizar la culminación de este estudio Monográfico, dándonos sabiduría, perseverancia, fortaleza, salud mental y física.

A nuestros padres, quien con su esfuerzo y amor nos han respaldado en todo momento para que podamos culminar con éxito este ideal como antesala de nuestro futuro profesional.

A ellos nuestra dedicatoria y el mérito que obtengamos, lo rendimos a su honor por la buena labor y confianza que ellos han tenido en **Dios** para construir juntos nuestro futuro.

Agradecimiento

Agradecemos:

A Dios:

Por la vida y la salud brindándonos en todo momento la fortaleza, esperanza, paciencia, sabiduría y deseos de superación durante el largo camino de nuestros estudios universitarios.

A Nuestros padres:

Por sus constantes apoyos día a día, siempre dándonos confianza, amor y ánimos, siendo nuestro máximo apoyo en la lucha por graduarnos como ingenieros en Telecomunicaciones.

A todo el complejo de docentes de la facultad de la carrera de ingeniería en Telecomunicaciones:

Por habernos acompañado en tan difícil camino de la educación universitaria, poniendo su empeño y dedicación por aportarnos todo y cada uno de los conocimientos que hoy son parte de nuestra formación. A ellos un enorme abrazo.

A todas aquellas personas que se nos acercaron para motivarnos y darnos consejos para no dejarnos abatir tan fácilmente, sean ellos recompensados por nuestro señor Jesucristo.

Agradecemos cordialmente a nuestro tutor por su enorme abnegación, paciencia, dedicación y apoyo incondicional durante la preparación de esta investigación, que con sus conocimientos nos brindó orientación para que este trabajo monográfico tuviera la calidad requerida.

A la Compañía de Telecomunicaciones BRIGHTCOMMS GO FURTHER en especial al Ing. Ramón Antonio Oporta Martínez Gerente de esta entidad, el cual nos brindó la oportunidad, confianza y ayuda incondicional para llevar acabo la realización de esta investigación.

A todos ellos Mil gracias que el señor todopoderoso les Bendiga.

Lista de Abreviaciones

3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BLER	<i>Block Error Rate</i>
C(I+N)	<i>Carrier to interface Noise</i>
eNB	<i>Evolved NodeB</i>
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>
EPRE	<i>Energy per Resource Element</i>
EPS	<i>Evolved Packet System</i>
ETSI	<i>European Telecommunication Standard Institute</i>
E-UTRAN	<i>Evolved- UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplexing</i>
ICIC	<i>Inter-Cell Interference Coordination</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LTE-A	<i>Long Term Evolution-Advanced</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MAX C/I	<i>Maximum Carrier/Interference</i>
MIMO	<i>Multiple Input - Multiple Output PCI Physical Cell Id</i>
PDCCH	<i>Physical Downlink Control Channel</i>
MME	<i>Mobility Management Entity</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
PDSCH	<i>Physical Downlink Shared Channel</i>
PD	<i>Proportional Demand</i>
PF	<i>Proportional Fair</i>
P-GW	<i>Packet Data Network Gateway</i>
PRB	<i>Physical Resource Block</i>
PUCCH	<i>Physical Uplink Control Channel</i>
PUSCH	<i>Uplink Shared Channel</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature -PSK</i>
RLC	<i>Radio Link Control</i>
RR	<i>Round Robin</i>
RRM	<i>Radio Resource Management</i>
RSRP	<i>Received Reference Signal Energy per Resource Element</i>
RSRQ	<i>Reference Signal Received Quality</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
SC-FDMA	<i>Single Carrier- Frequency Division Multiple Access</i>
S-GW	<i>Serving Gateway</i>
SINR	<i>Signal to Interference plus Noise Ratio</i>
SRB	<i>Scheduler Resource Block</i>
SU-MIMO	<i>Single User MIMO</i>

<i>TDD</i>	<i>Time Division Duplex</i>
<i>TELCOR</i>	<i>Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos</i>
<i>TTI</i>	<i>Transmission Time Interval</i>
<i>UE</i>	<i>User Equipment</i>
<i>WIMAX</i>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

Resumen

Las empresas de telecomunicaciones han invertido en hardware de mayor capacidad y nueva tecnología para soportar la gran demanda de tráfico de usuarios de DL y UL en Nicaragua. LTE-A es una nueva tecnología que proporciona mayor velocidad de datos, ancho de banda más estable, agregación de portadoras con un mínimo de 2 portadoras de 10 Mhz, técnicas de múltiples antenas (MIMO). La selección de la programación de paquetes en una red es bastante importante para la optimización del recurso físico de la red LTE. Este trabajo monográfico tiene dos propósitos principales: la calibración del modelo de propagación estándar (SPM) y la comparación de la programación de paquetes: Round Robin, Proporcional Fair, Proporcional Demand y Max C/I. La calibración del modelo de propagación estándar (SPM) de Atoll se realizó en una red de LTE-FDD (Duplexación por División de Frecuencia) de 15 sitios que se despliega en un clúster de alto tráfico de la ciudad de Managua en la banda de frecuencia de 1900 Mhz. Se realizó una prueba de campo (drive test) desplegada en el clúster de alto tráfico para recopilar al menos 30,000 muestras de datos. La información recopilada fue post- procesada y se usó para realizar la calibración automática del SPM. La red LTE-A se optimizó después de concluir el proceso de calibración del modelo SPM para tener una mejor estimación de la predicción en Atoll con la información recopilada en campo (DT). La calibración del SPM y la optimización de la red LTE-A son esenciales para realizar el estudio comparativo entre la programación de paquetes como Round Robin, Proporcional Fair, Proporcional Demand y Max C/I. El resultado del estudio de comparación muestra que el proporcional Fair es el mejor programador de paquetes en relación con los otros tres planificadores de paquetes. Dos artículos científicos son la contribución del trabajo monográfico actual. Fueron presentados en la convención de América Central y Panamá (CONCAPAN XXXVII), 2017 IEEE 37° y posteriormente publicados en la prestigiosa Biblioteca Digital IEEE Xplore agregados el 01 de febrero del 2018. Nombrados de la siguiente manera:

- “Calibration of the standard propagation model (SPM) in a LTE network for Managua”, cuyo propósito es el calibrar el modelo de propagación estándar para la red LTE en Managua la cual se encuentra desplegada en la banda 2 FDD (Duplexación por División de Frecuencia) de operación de 1900 MHz, y un segundo propósito es realizar la evaluación de escenarios de throughput para una red LTE-A. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8278489/>
- “Analysis of the throughput performance for a LTE A network in Managua using the strategies of the Packet Scheduling and frequency bands 1, 2 and 3 FDD”, donde el objetivo es realizar predicciones con la herramienta Atoll para estimar el desempeño del throughput en una carga de tráfico del 70% con los distintos scheduling en las bandas de frecuencias 1, 2, 3 modo Duplexación por División de Frecuencia (FDD) en una zona de alto tráfico de usuarios de la ciudad de Managua. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8278487/>

Abstract

The companies of telecommunication have invested in hardware for more capacity and new technology to support the high demand of traffic of users of DL throughput and UL in Nicaragua. LTE A is a new technology, which provide a higher speed of data, more stable bandwidth, aggregation of carriers with a minimum of 2 carriers of 10 MHz, multi-antenna techniques (MIMO). The selection of the packet scheduling in a network is quite important for the optimization of physical resource of LTE network. This monographic work has two main purposes: The calibration of the standard propagation model (SPM) and the comparison of the Packet Scheduling: Round Robin, Proportional Fair, Proportional Demand y Máximo C/I.

The calibration of the standard propagation model (SPM) of Atoll was done in a network of LTE - FDD (Frequency Division Duplex) of 15 sites which is deployed in a cluster of high traffic of the city of Managua in the frequency band of 1900 Mhz. A drive test was done deployed in the cluster of high traffic to collect at least 30,000 data samples. The information collected was post-processing and it was used to do the automatic calibration of the SPM. The LTE-A network was optimized after concluded the calibration process of the SPM model in order to have a better estimation of the prediction in Atoll with the information collected in the field.

The calibration of the SPM and optimization of the LTE-A network are essential to do the comparative study among the Packet Scheduling such as: Round Robin, Proportional Fair, Proportional Demand and Máximo C / I. The result of the comparison study shows that the proportional fair is the best packet scheduling in relation of the other 3 packet scheduler. Two scientific articles are the contribution of the current monographic work. They were presented at the Convention of Central America and Panama (CONCAPAN XXXVII), 2017 IEEE 37th and later they were published in the prestigious IEEE Xplore Digital Library added on February 1, 2018. The articles are:

- "Calibration of the standard propagation model (SPM) in a LTE network for Managua", whose purpose is to calibrate the standard propagation model for the LTE network in Managua which is deployed in band 2 FDD (Frequency Division Duplexing)) of operation of 1900 MHz, and a second purpose is to perform the assessment of throughput scenarios for an LTE-A network.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/8278489/>
- "Analysis of the throughput performance for LTE Anetwork in Managua using the strategies of Packet Scheduling and frequency bands 1, 2 and 3 FDD", where the objective is to make predictions with the Atoll tool to estimate the throughput performance in a load of 70% traffic with the different scheduling in frequency bands 1, 2, 3 Frequency Division Duplexing (FDD) mode in a high traffic area of users in the city of Managua.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/8278487/>

Índice de Figuras

Figura 1. Arquitectura de LTE-A	6
Figura 2. Multi-layer Network (HetNets).....	6
Figura 3. Ejemplo de Relay Node (RN) en LTE-A	7
Figura 4. Ejemplo de Coordinated Multi-point Transmission (COMP)	8
Figura 5. Comparación de las Características de Múltiples antenas entre LTE y LTE-A ...	8
Figura 6. Agregación de portadoras en Ancho de Banda no Continuo, una Sola Banda. ..	9
Figura 7. Escenario de interferencia en una red con celda macro	9
Figura 8. Asignación de Azimut.	10
Figura 9. Asignación de PCI..	10
Figura 10. Ancho de haz de una antena sectorial..	11
Figura 11. Asignación de Cells Name.....	11
Figura 12. Funcionamiento del packet scheduling	12
Figura 13. Funcionamiento del Scheduling	13
Figura 14. Método de Planificación para una red LTE-A	21
Figura 15. Ejemplo de Site Survey.....	24
Figura 16. Ubicación de sitios en Google Earth..	24
Figura 17. Creación de nuevos proyectos en Atoll.	33
Figura 18. Selección de coordenadas.	33
Figura 19. Mapa de Nicaragua.....	33
Figura 20. Ubicación de sitios en Atoll.	35
Figura 21. Importación de antenas en Atoll.	38
Figura 22. Asignación de vecinas para sitios.	40
Figura 23. Cálculo de Error..	48
Figura 24. Implementación de Ruta para drive test en la ciudad de Managua.	50
Figura 25. Samsung Galaxy S5..	51
Figura 26. GPS modelo BU-353S4.....	53
Figura 27. Drive Test Realizado en Managua.	54
Figura 28. Post-proceso del Drive Test de la ciudad de Managua.	56
Figura 29. Filtrado de mediciones.....	57
Figura 30. Creación de mediciones.	57
Figura 31. Selección de mediciones a utilizar para la calibración.....	58
Figura 32. Selección de constantes a calibrar.....	59
Figura 33. Calibración automática del SPM.	59
Figura 34. Predicción de nivel de señal (RSRP): (A) Niveles de señal del sitio MN09, (B) Predicción con el SPM por default, (C) Predicción con el SPM calibrado, (D) leyendas utilizadas.....	60
Figura 35. Predicción de nivel de señal (RSRP): (A) Niveles de señal del sitio MN02, (B) Predicción con el SPM por default, (C) Predicción con el SPM calibrado, (D) leyendas utilizadas.....	60
Figura 36. Predicciones por Nivel de señal global: (A) con el SPM no calibrado, (B) con el SPM calibrado.	63
Figura 37. Histograma del Nivel de RSRP global. (A) Con el SPM no calibrado, (B) SPM calibrado	64

Figura 38. Histograma del nivel de RSRP global: (A) Post-Proceso, (B) SPM calibrado..	64
Figura 39. Computation Zone de la red LTE-A. Elaboración Propia.....	67
Figura 40. Predicción Coverage by Signal Level; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	68
Figura 41. Histograma de predicción Converage by Signal Level: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.....	68
Figura 42. Overlapping Zone: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización	69
Figura 43. Histograma de predicción Overlapping Zones (DL); (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	69
Figura 44. Predicción por Transmisor (DL): (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	70
Figura 45. Mapa de Tráfico.	71
Figura 46. Simulación Monte Carlo.....	72
Figura 47. Cobertura por BLER DL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.....	73
Figura 48. Histograma por porcentaje de BLER DL; (A), antes de la optimización, (B) después de la optimización.	73
Figura 49. Cobertura por BLER UL: (A) antes de la optimización, (B) después de la Optimización.	74
Figura 50. Histograma porcentaje de BLER UL: (A) antes de la Optimización, (B) después de la optimización.	74
Figura 51. Cobertura por Radio Bearers DL: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	75
Figura 52. Histograma porcentual de selección de Radio Bearers DL basado en C/ I+N: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	75
Figura 53. Cobertura por Radio Bearers UL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	76
Figura 54. Histograma para el porcentaje de selección de Radio Bearers UL basado en C/I+N: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	76
Figura 55. Cobertura por C/ (I+N) en DL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.....	77
Figura 56. Histograma del porcentaje de C/ (I+N) en el DL: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	78
Figura 57. Cobertura por C/ (I+N) en el UL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	78
Figura 58. Histograma para el porcentaje de C/(I+N) en UL : (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.	78
Figura 59. Cobertura por Throughput para el canal RLC en el DL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.....	79
Figura 60. Histograma porcentaje de Throughput para el canal RLC en el DL;(A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.....	80
Figura 61. Cobertura por Throughput para el canal RLC en el UL;(A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.....	80
Figura 62. Histograma porcentaje de Throughput para el canal RLC en el UL;(A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.....	81

Figura 63. Cobertura por Throughput para el canal RLC en el DL con los 4 Scheduling; PF,PD,RR y MAX C/I.....	84
Figura 64. Histograma cobertura por Throughput para el canal RLC en el DL con los 4 Scheduling; PF, PD, RR Y MAX C/I.....	85
Figura 65. Cobertura por Throughput para el canal RLC en el UL con los 4 Scheduling; PF, PD, RR Y MAX C/I.	86
Figura 66. Histograma por cobertura throughput para el canal RLC en el DL con los 4 scheduling; PF, PD, RR Y MAX C/I.	87

Índice de Tablas

Tabla 1. Modelo de tráfico.....	22
Tabla 2. Parámetros y valores de los transmisores.	25
Tabla 3. Configuración de parámetros para la plantilla Cells de Atoll.....	26
Tabla 4. EUTRA OPERING BANDS.....	28
Tabla 5. Especificaciones generales de la antena	29
Tabla 6. Características comparativas para tipos de modelos de propagación en LTE. .	31
Tabla 7. Configuración de la tabla sites en Atoll.....	34
Tabla 8. Parámetros de los transmisores en Atoll.	36
Tabla 9. Otros parámetros de los transmisores en Atoll..	37
Tabla 10. Escenarios de simulación. Elaboración propia.....	41
Tabla 11. Parámetros generales para las simulaciones.....	42
Tabla 12. Parámetros de transmitters y usuarios para las simulaciones.....	43
Tabla 13. Rangos de los valores de K.....	46
Tabla 14. Categorías de EU para LTE/LTE-A	51
Tabla 15. Campos típicos de una Celfile.	55
Tabla 16. Comparación antes y después de la calibración para el mean error y la desviación estándar global.....	61
Tabla 17. Comparación de los valores de “K” con el SPM por default y con el SPM calibrado.	61
Tabla 18. Comparación de las pérdidas del clutter con el SPM por default y con el SPM calibrado.	62
Tabla 19. Comparación de resultados SPM no calibrado, SPM calibrado y post-proceso.	65
Tabla 20. Parámetros de Nivel de cobertura.	67
Tabla 21. Parámetros del Evirotments de la ciudad de Managua.	71
Tabla 22. Parámetros de Business User.	71
Tabla 23. Estadísticas de simulación para cada sheduler.	83

Contenido

Capítulo I. Conceptos generales de LTE-A.	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.	2
1.3 Justificación.	3
1.4 Objetivo General.	3
1.5 Objetivos Específicos.	3
1.6 Marco Teórico	4
1.7 Algoritmo Packet Scheduling.	12
1.8 Diseño metodológico	17
Capítulo II. Planificación de la red LTE-A en Atoll	19
2.1 Introducción	19
2.2 Método para la Planificación de la red LTE-A	21
2.3 Planificación Nominal de la red LTE-A.	22
2.4 Planificación detallada.	27
2.5 Optimización de la red.	40
Capitulo III. Calibración del Modelo de Propagación Estándar (SPM) en Atoll.	44
3.1 Introducción.	44
3.2 Características del Modelo de Propagación Estándar.	44
3.3 Algoritmo de calibración del SPM con el módulo CW Measurement de ATOLL.	46
3.4 Procedimientos de calibración del modelo SPM.	48
3.5 Diseño de ruta para el Drive Test.	49
.....	50
3.6 Descripción del Drive Test.	53
.....	54
3.7 Post-procesamiento del drive test.	54
3.8 Comparación del SPM por default y el SPM calibrado.	60
Capitulo IV. Comparación del desempeño de los Packet Scheduling en LTE-A.	66

4.1	Introducción.	66
4.2	Optimización de la red LTE-A.	66
4.3	Predicciones de Nivel de Señal.	67
4.4	Predicciones de Calidad de la señal.	70
4.5	Simulaciones Monte Carlo.	72
4.6	Análisis de las estrategias del packet scheduling.	82
5.	Conclusiones.	89
6.	Recomendaciones.	90
7.	Referencias	91
	Anexos	98

Capítulo I. Conceptos generales de LTE-A.

1.1 Introducción

La evolución de la telefonía móvil avanza rápidamente en el mundo entero, creciendo en número de suscriptores demandando mejores velocidades de datos, según la Unión internacional de Telecomunicaciones UIT afirma que. “Las redes móviles de banda ancha avanzadas LTE, corresponde a 53% de la población mundial En términos generales y se espera que el número total de suscripciones a la banda ancha móvil alcance los 3.600 millones a finales de 2016, en comparación con 3.200 millones a finales de 2015” [1].

El sector de las telecomunicaciones en Nicaragua ha sufrido un cambio sustancial en los últimos años principalmente en la telefonía móvil, con una fuerte tendencia a la competencia abierta y a la globalización de los servicios. Este crecimiento está vinculado a la generación de nuevas tecnologías de acceso, para dar soporte a un tráfico generado. El Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR) presento un comunicado que “El crecimiento de los usuarios de la telefonía celular pasó de 4.8 millones de usuarios en 2011, a unos 6.8 millones hasta el 23 de diciembre de 2013, precisó el ente regulador” [2]. LTE actualmente estandarizado en 3GPP cuya evolución es conocida como LTE-ADVANCED (LTE -A), extiende y mejora la tecnología de acceso de radio en varias dimensiones. Las características son: introducción de agregación de portadoras para explotar el espectro fragmentado, amplio ancho de banda, altas velocidades mayor que las de LTE, LAA (licensed Assisted Access), Latency Reduction, Multi-Antenna Enhancements, Carrier-Aggregation Enhancements, MTC (Machine-Type Communications) y Device-to-Device Communication” [3].

En este trabajo monográfico se realizó la calibración del modelo de propagación estándar (Standard Propagation Model - SPM) para una red LTE de 15 sitios ubicados en la ciudad de Managua la cual se encuentra desplegada en la banda 2 FDD, el modelo de propagación estándar se calibrara para realizar el analices del desempeño del throughput ya que un modelo calibrado permite realizar estimaciones más reales del desempeño de red y un segundo propósito evaluar el desempeño de throughput con el 70% de tráfico que equivale a 8,232 usuarios en una red LTE-A. La planificación de la red LTE-A se

realizó utilizando la herramienta de predicción Atoll y luego se analizó el rendimiento de la red empleando las estrategias del Packet Scheduling. Las estrategias de Packet Scheduling a evaluar en LTE –A son las siguientes: Round Robin, Proportional Fair, Proportional Demand y Máximo C/I. Este trabajo monográfico está estructurado por los siguientes capítulos:

- Capítulo I: Conceptos generales de LTE-A.
- Capítulo II: Planificación de la red LTE-A en Atoll.
- Capítulo III: Calibración del modelo de propagación estándar (SPM) en Atoll.
- Capítulo IV: Comparación del desempeño de los packet scheduling en LTE-A.

1.2 Antecedentes.

Los antecedentes que conllevan al surgimiento del presente trabajo monográfico son los siguientes, dentro de ellos destacaremos los trabajos monográficos y artículo realizado en la universidad nacional de ingeniería tales como:

Calibración del modelo de propagación estándar para la tecnología 3G operando en 850 MHz en entornos urbanos y suburbanos de la ciudad de Managua utilizando el software Atoll [4], se encontró también una monografía basada en un análisis de carácter técnico sobre la nueva generación de telefonía móvil analizando en detalle como LTE evoluciona el mercado permitiendo tener conexiones de banda ancha móvil con alta tasa de datos, además da a conocer parámetros necesarios para un futuro diseño e implementación de esta tecnología en las redes telefónicas en la ciudad de Managua, Nicaragua [5], monografía en el cual se hace un estudio técnico de migración de la red de acceso de la tecnología WIMAX a LTE en la empresa Yota de Nicaragua con la herramienta Atoll [6]. También es de gran importancia destacar el surgimiento y operación de la tecnología LTE por los operadores telefónicos de nuestro país (Nicaragua) en el año 2016, como es el caso del operador Claro que está prestando servicio en algunos departamentos del país donde actualmente existe mayor demanda de datos. Claro está operando en LTE en Managua, León, Estelí y Matagalpa”. Movistar opera LTE en Managua, León, Chinandega, Masaya, Granada y San Juan del Sur con las siguientes velocidades 34.3 Mb/s Average Download Speed Y 11.1 Mb/s Average Upload Speed” [7],[8].

1.3 Justificación.

La red LTE se encuentra desplegada en la ciudad de Managua por un operador de telefonía móvil en la banda de 1900 Mhz para satisfacer la mayor parte de la demanda de tráfico de datos [9]. Ante tal despliegue de la red LTE surge la necesidad de calibrar el modelo SPM. El propósito por el cual se calibrara el modelo SPM es el de obtener estimaciones y resultados más reales del comportamiento y desempeño de la red en operación, mediante la realización de predicciones y simulaciones en Atoll. Al contar con el modelo SPM calibrado se realizara la evaluación del análisis del throughput en una red LTE-Advanced; el motivo es el de obtener predicciones de throughput con velocidades de datos más reales y realizar una comparación con el estándar nombrado por la 3GPP para la tecnología LTE-A. Seguido de esto se analizaran las siguientes cuatro estrategias de packet scheduling: Round Robin, Proportional Fair, Proportional Demand y Máximo C/I, el análisis de las estrategias se realizara para diagnosticar con cuál de ellas se obtienen mayores velocidades en las predicciones de Throughput ya que estas juegan uno de los papeles más importante en la asignación de recurso de radio en las ENodeB.

1.4 Objetivo General.

- Evaluar el desempeño de throughput de una red LTE-A de 15 sitios en un área representativa de la ciudad de Managua, Nicaragua con el modelo SPM calibrado y distintas estrategias del packet scheduling.

1.5 Objetivos Específicos.

- Identificar los requerimientos necesarios que intervienen en el proceso de diseño y planificación de una red LTE-A con la herramienta ATOLL.
- Calibrar el modelo de propagación estándar en la banda 2 FDD LTE mediante la realización de mediciones de campo.
- Realizar una optimización física y lógica a la red LTE-A para mejorar los niveles RSRP, RSRQ, SINR y por ende el rendimiento del throughput y así mejorar el desempeño de la red.
- Analizar las estrategias de Packet Scheduling Round Robin, Proportional Fair, Proportional Demand y Maximum C/I en las simulaciones de throughput para ver con cuál de ellas se obtiene mayores velocidades en DL y UL.

1.6 Marco Teórico

La tecnología móvil ha tomado mucho impulso desde la evolución de 1G análogo a GSM digital en 1980, así ha seguido creciendo a un ritmo acelerado GPRS, EDGE, UMTS y HSDPA, LTE Y LTE-A que promueven el desarrollo de las futuras demandas de servicios de banda ancha móvil a través de tasas de datos más altas, los retrasos más cortos, e incluso mayor capacidad” [10],[11].

LTE (Long Terminal Evolution).

LTE es una red completamente IP y está diseñada para cumplir los requisitos de datos con tasa de hasta 150 Mbps en el enlace descendente, 75 Mbps en el enlace ascendente, ancho de banda escalable de 1,2, 3 , 5 , 10 , 15 , 20 MHz , FDD ((Frequency Division Duplex) y TDD (Time Division Duplex). El enlace descendente por OFDMA (Orthogonal Frequency división Multiple Access), enlace ascendente por SCFDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access), MIMO (Múltiple Input Múltiple Output), utilizando modulación “16 QAM, 64 QAM y QPSK” [12].

Componentes de la E- UTRAN (Evolved Terrestrial Radio Access Network).

- ❖ **E Node B:** son nodos B mejorados, su función es la gestión de los recursos de radio, en el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz de radio. Mediante dichos protocolos, el eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia y desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz de radio [13].
- ❖ **X2:** es la interfaz de la interconexión de los eNBs.
- ❖ **S1 – MME:** es la interface que permite la conexión entre el EPC con los eNBs [14].
- ❖ **Uu:** permite la transferencia de información por el canal de radio entre el eNB y los equipos de usuario [15].

Componentes del EPC (Evolved Packet Core):

- ❖ **MME (entidad de gestión de movilidad):** es la encargada de gestionar las funciones de seguridad (autenticación, la autorización, la señalización NAS), la manipulación la movilidad o estado de reposo, itinerancia, los traspasos, también la selección de la pasarela de servicio (S - GW) y la Red de Paquetes de Datos Gateway (PDN GW - nodos) forma parte de sus tareas [14].
- ❖ **S-GW (Serving Gateway):** El EPC termina en este nodo, y está conectado a la E-UTRAN a través de la interfaz S1, Cada UE se asocia a una única S – GW.
- ❖ Las funciones de SGW incluyen el punto de anclaje de movilidad local para traspaso entre eNB.
- ❖ retransmitir el tráfico entre el sistema 2G / 3G y PDN-GW). [15]
- ❖ **PDN-GW (Packet Data Network Gateway):** PGW- GW o P-GW es responsable de actuar como un "ancla" de movilidad entre 3GPP y tecnologías no-3GPP. Proporciona conectividad desde el UE a la PDN externa por ser el punto de entrada o salida de tráfico para el UE. El PGW gestiona la aplicación de políticas, la filtración de paquetes para los usuarios, La interceptación legal, la asignación de direcciones IP a cada usuario, Contabilización de carga entre operadores y Contabilidad por el UE y el portador [10].

LTE-A (Long Terminal Evolution-Advanced).

En el Release 10 para IMT-Advanced, LTE-A es un mejoramiento de LTE y los objetivos de esta nueva tecnología son: incrementan la cobertura, mayores velocidades de datos, un mejor rendimiento de calidad de servicio y la equidad para diferentes UE, con Velocidades pico de 1 Gbit/s en downlink y 500 Mbit/s en uplink, con Ancho de banda de hasta 100 MHz [16], su arquitectura la veremos a continuación en la figura 1.

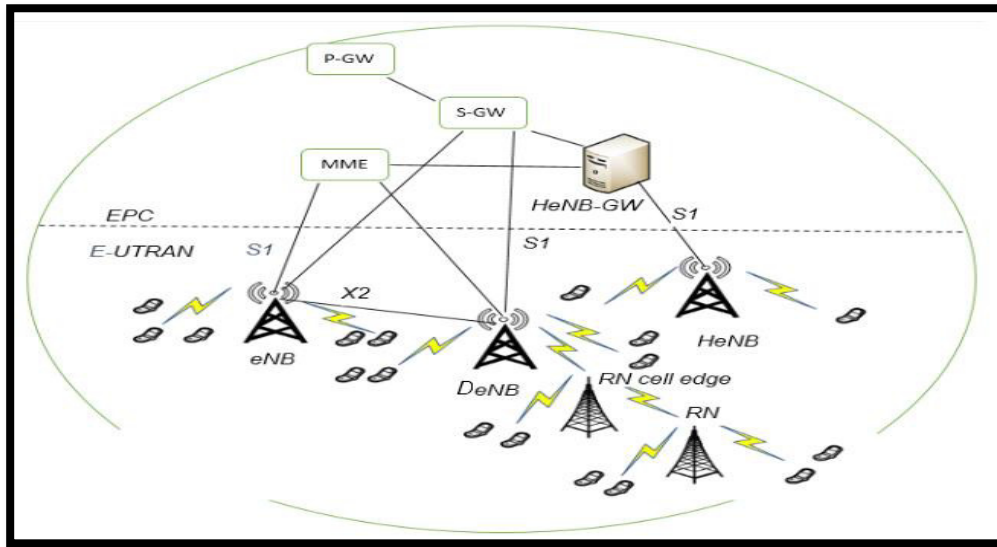


Figura 1. Arquitectura de LTE-A [14]

HeNBs: Home eNB también denominadas femtoceldas, que son eNBs de menor costo para mejorar la cobertura en interiores, se puede conectar a la EPC directamente o a través de una puerta de enlace que proporciona adicional soporte para un gran número de HeNBs [17].

Heterogeneous Network (HetNets) en LTE-A.

Necesitan métodos de coordinación de interferencia para su implementación. Se trata de redes que se construyen por una célula macro (MC) para garantizar la cobertura y por las células Pico (PC), células femto (FC) y estaciones repetidoras (RN) como lo muestra la figura 2 para iluminar zonas sombreadas o mejorar la velocidad de datos en los puntos calientes [18].

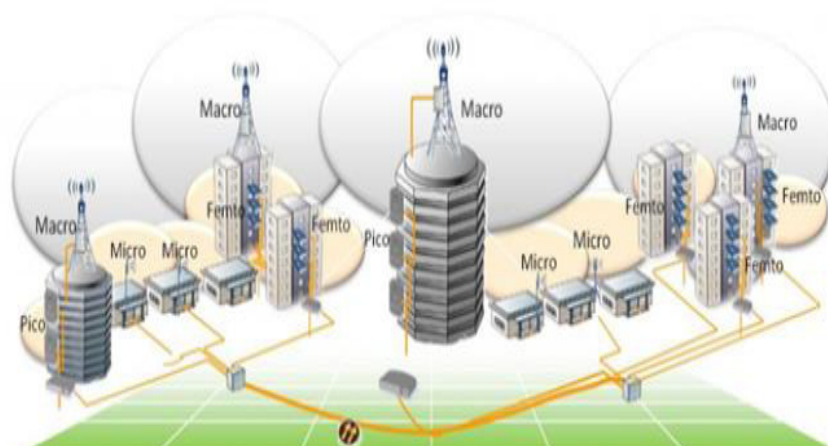


Figura 2. Multi-layer Network (HetNets) [19].

Implementaciones principales en LTE-A según Release 10.

Relay Node (RN).

Los Nodos de Retransmisión (RN) se emplean para mejorar el rendimiento urbano o de interior y añadir la cobertura de zona muerta como lo muestra la figura 3, o para ampliar la cobertura en las zonas rurales. Amplifica y retransmite las señales de enlace descendente y ascendente. Recibe la señal de eNodoB y re-transmite a crear una nueva área de cobertura. El enlace desde el eNodoB al RN se denomina enlace de red de retorno y de RN a UE se denomina enlace de acceso, se conectará de la célula donante (DeNB) dentro de la misma frecuencia de la portadora con enlaces RN-a-UE o fuera de banda, en cuyo caso el enlace no funciona en la misma frecuencia portadora como enlaces RN-a-UE [21]. Existen dos tipos de RN la primera cuando una RN depende de una DeNB, pero siempre funcionan independiente y la otra cuando una RN depende de otra RN Los usuarios menores de RN tendrán más retraso en el proceso [21].

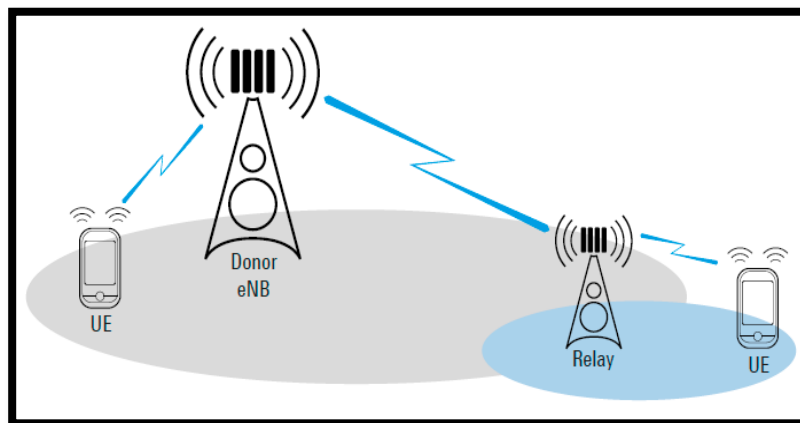


Figura 3. Ejemplo de Relay Node (RN) en LTE-A [18].

Coordinated Multi-Point Transmission/Reception (CoMP).

En LTE-A múltiples sitios dispersos geográficamente están conectados a una sola central de procesamiento de banda base por tal hace nuevas estrategias de transmisión. Con el procesamiento de banda base situada en un solo nodo, múltiples puntos de transmisión / recepción coordinada (CoMP), se puede desplegar como se ilustra en la Figura 4. En el enlace descendente implica coordinación de las transmisiones procedentes de la transmisión múltiple puntos [22].

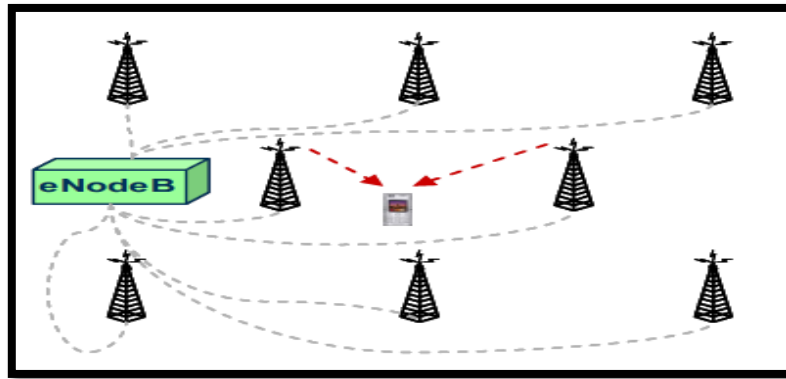


Figura 4. Ejemplo de Coordinated Multi-point Transmission (COMP) [22]

Enhanced MIMO.

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) mejorada, es considerado como uno de los aspectos principales de LTE-Advanced que permitirá al sistema satisfacer los requerimientos de velocidad de las IMT-Avanzadas establecidas por la UIT-R. Es una técnica clave en cualquier sistema celular moderno, que se refiere al uso de múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor de 4x2 y 8x4 como se muestra en la figura 5 [14].

Carrier Aggregation.

Agregación de portadoras como su nombre indica, combina múltiples canales portadores como lo muestra la figura 6 para proporcionar un canal de datos más grande para el usuario de hasta más de 1 Gbps en el downlink y, más importante aún, las tasas de datos de usuario superior en toda el área de cobertura celular [24].

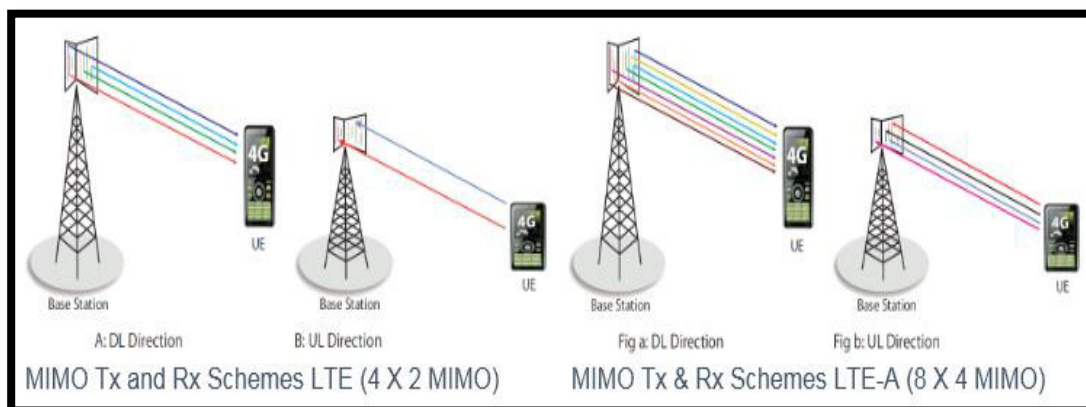


Figura 5. Comparación de las Características de Múltiples antenas entre LTE y LTE-A [23].

Como primer paso, el lanzamiento comercial apoyada agregación de dos portadores de 10 MHz, lo que permite una velocidad de datos máxima de 150 Mbps (Cat 4 terminales). Esto duplica las velocidades de datos de usuario a través de la célula, si el usuario está cerca de la célula o en el borde de la celda; ahora en LTE-A agregación de hasta 5 portadoras de 20 MHz de ancho de banda cada una [24].

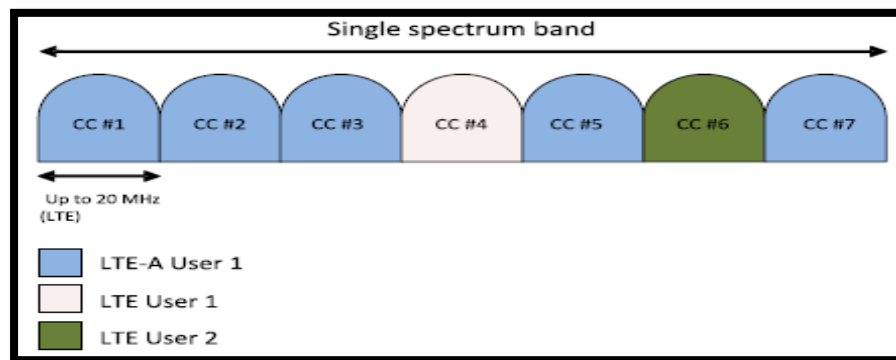


Figura 6. Agregación de portadoras en Ancho de Banda no Continuo, una Sola Banda [14].

Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (ICIC).

El manejo pertinente de las interferencias en los bordes de celda era un tema importante del release 8 en adelante. En una red celular macro puro, un UE conectado con su respectiva celda de servicio (línea verde a la izquierda que lo muestra la figura 7) sufre interferencias en bordes de la celda de una vecina celular (línea roja a la derecha). UEs adicionales crean interferencias en el UL (líneas rojas en la izquierda), que no puede ser eliminado por la selección adecuada de la potencia de transmisión [20].

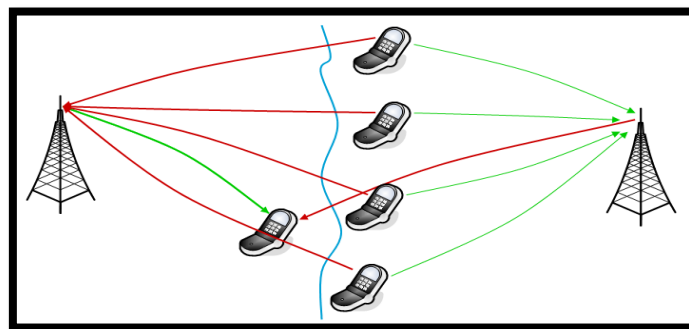


Figura 7. Escenario de interferencia en una red con celda macro [18].

Azimut o Dirección.

El azimut es el ángulo de orientación que tiene una antena desde su punto de ubicación hacia su objetivo de cobertura como se ilustra en la figura 8, se mide en grados y el punto de referencia que se toma para iniciar a medir es el norte, el azimut es orientado a la dirección donde se concentre la mayor demanda de servicio [25].

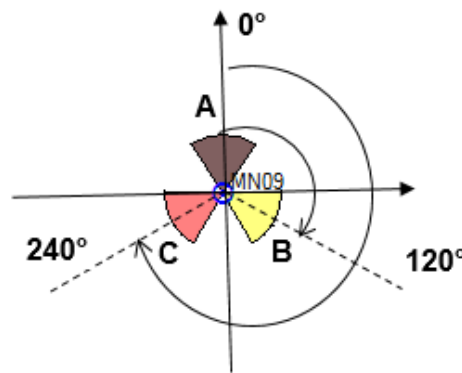


Figura 8. Asignación de Azimut. Elaboración Propia.

Physical Cell Id (PCI).

Es un código que identifica a la celda de forma única y es reconocido por el terminal móvil para los procesos de handover. Es el equivalente al SC (Scrambling Code) de UMTS. Básicamente es un identificador de la capa física y se pueden utilizar para crear señales de sincronización primarios (PSS) y señales de sincronización secundarios (SSS) estas señales ayudan al proceso de autoconfiguración para la identificación de celdas por medio de algoritmos, existen 504 PCI que van de 0 a 503 y son rehusados. La figura 9 nos muestra la asignación de PCI [26].

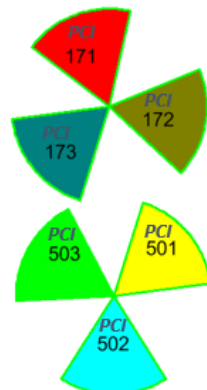


Figura 9. Asignación de PCI. Elaboración Propia.

EARFCN (Evolved-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number).

Es el número del canal que se utiliza para identificar el segmento de frecuencia que se está utilizando dentro de una portadora. La frecuencia portadora en el enlace ascendente y descendente es designada por el Numero de Canal de Radiofrecuencia Absoluta E-UTRA (EARFCN) en el rango 0 – 65535 [27].

-Ancho del haz (beamwidth).

El ancho del haz (beamwidth) es el ángulo subtendido por la radiación emitida entre los puntos en que la potencia disminuye a la mitad, (3 dB) respecto a la radiación máxima, es el ángulo entre los puntos de media potencia donde se concentra la mayor potencia de radiación como se muestra en la figura 10, por lo tanto el ancho de una antena sectorial puede andar entre 50° y 70° [28].

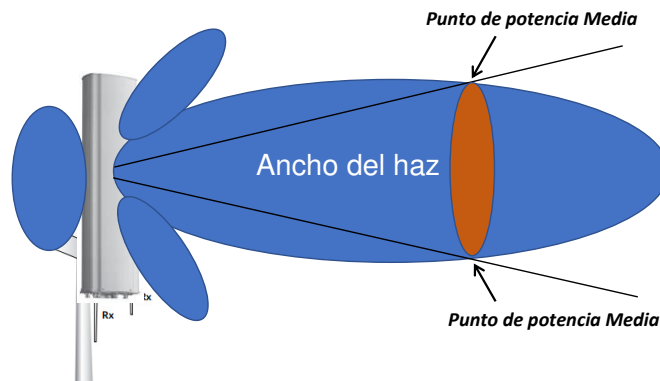


Figura 10. Ancho de haz de una antena sectorial. Elaboración Propia.

Cell Name.

Es el nombre que recibe cada EnodeB por parte del operador, es un número que se utiliza para identificar de forma única una EnodeB y sus sectores dentro de la red como lo muestra la figura 11 [29].

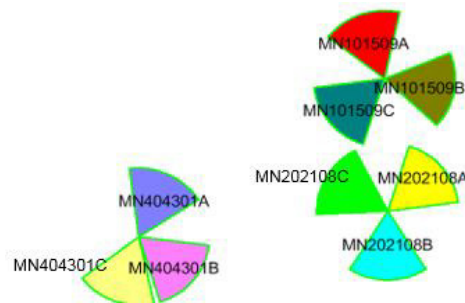


Figura 11. Asignación de Cells Name. Elaboración Propia.

1.7 Algoritmo Packet Scheduling.

La función del Packet Scheduling es de asignar celda a celda recursos de radio a cada usuario de forma dinámica para que estos puedan realizar transmisiones ordenadas como se observa en la figura 12, Ya que LTE y LTE-A son orientadas a la transmisión de datos y se dan a través de canales compartidos y su desempeño afecta la QoS del usuario[15]. Reside en el ENodeB y realiza las tareas tales como que usuario transmite con que recurso de radio y establece distintos formatos de modulación y codificación a los usuarios en dependencia del recurso de radio asignado en ese momento de la conexión donde el recurso de radio mínimo asignado a un usuario es de 180 KHz en una subtramas de un “1 ms” [11].

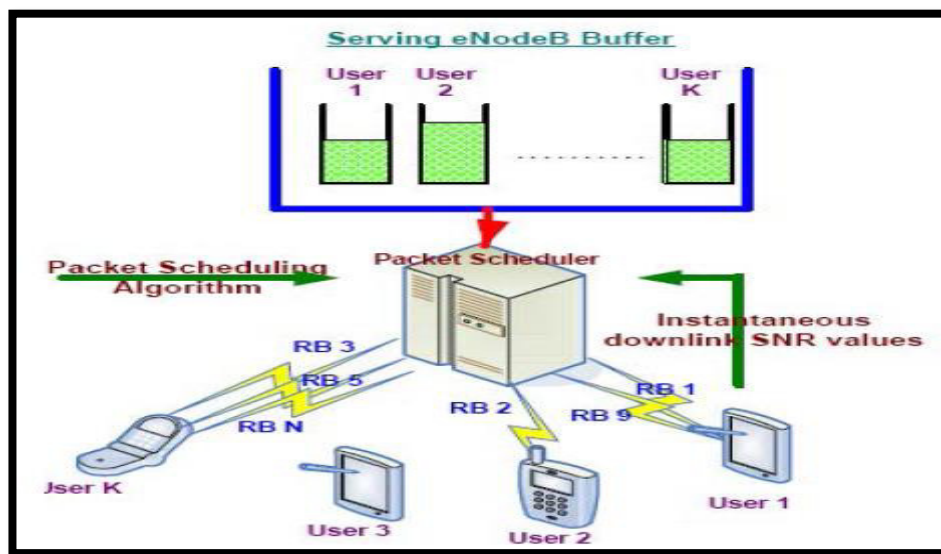


Figura 12. Funcionamiento del packet scheduling [30].

Downlink Scheduler.

En el enlace descendente, las transmisiones para diferentes terminales dentro de una célula son típicamente ortogonales entre sí, lo que implica que, al menos en teoría, no hay interferencia entre las transmisiones. Las funciones para el Scheduler son decidir qué usuarios transmiten en el canal PDSCH, como se multiplexan los canales lógicos, determina el tamaño del bloque de transporte (TB), modulación y codificación a utilizar, asignar recursos a varios terminales en una misma subtrama por las variaciones de frecuencia del canal y necesita que el UE reporten el estado del canal mediante channel status reports y envía al UE el mensaje de acceso downlink Scheduling assignment [10].

Uplink Scheduler.

Las funciones son en cada subtrama determina qué terminales transmiten en el PUSCH como se ilustra en la figura 13, selecciona el formato de transporte (TF) que usara el terminal, en el uplink Scheduler el multiplexado de canales lógicos se realiza en el UE, Scheduling y el TF se comunican con el terminal mediante los llamados uplink Scheduling grants, el uplink Scheduler con anterioridad conoce el TF por lo tanto ya no es necesario que el UE indique esta información al ENBs para hacer las transmisiones”[15].

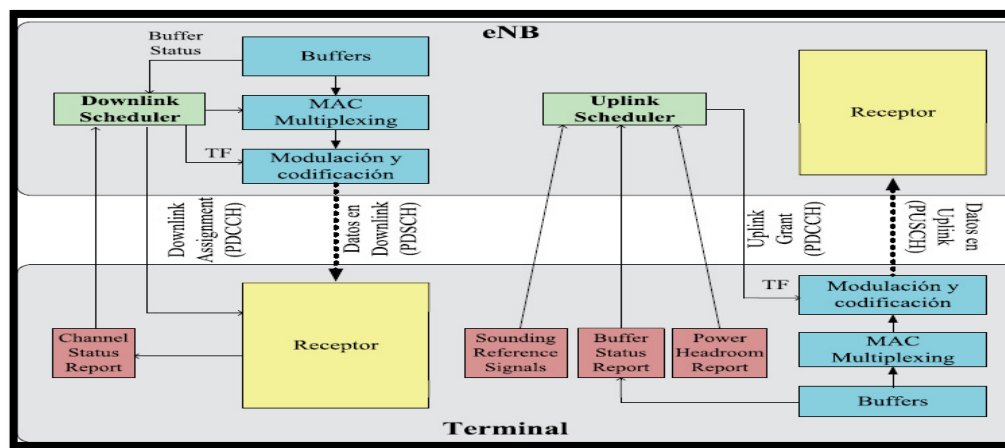


Figura 13. Funcionamiento del Scheduling [15].

Estrategias Del Packet Scheduling.

Round Robin.

El algoritmo Round Robin (RR) asigna porciones iguales de datos durante el mismo tiempo en un orden rotatorio a cada usuario , RR logra el mejor rendimiento de equidad si los usuarios tienen canales con condiciones similares, no toma en cuenta las condiciones del canal para cada usuario en consideración, al no considerar las condiciones del canal, no está adaptado a las necesidades de los usuarios, los usuarios con peor condición del canal radio requerirán más tiempo para que el canal pueda igualar su calidad de servicio a la de los usuarios con las mejores condiciones de radio y puede tener peor rendimiento de procesamiento en comparación con otros algoritmos. [15],[31]

El algoritmo del RR funciona según lo siguiente:

$$R_{max-DL}^{Mi^{sel}} = \text{Min} \left(\frac{R_{Rem-DL}^{TXi}}{N_{Users-DL}^{TXi}} \right), RD_{Rem-DL}^{Mi^{sel}} \quad (1)$$

Dónde:

- $R_{max-DL}^{Mi^{sel}}$: Son los recursos máximos de los usuarios
- R_{Rem-DL}^{TXi} : Cantidad de Recursos en el DL de la celda TX_i
- $N_{Users-DL}^{TXi}$: Máximo Numero de Usuarios
- $RD_{Rem-DL}^{Mi^{sel}}$: Recursos de los Usuarios por cada celda

Proportional Fair.

El Algoritmo proporcional Fair (PF) proporciona un rendimiento equilibrado entre la equidad y el rendimiento del sistema y optimizar el throughput de cada usuario, toma en cuenta las condiciones del canal, El bloque de programación es asignado al usuario con la prioridad más alta y el Scheduler asigna recursos a un usuario cuando la calidad del canal que dicho usuario observa en su determinado momento (Calidad instantánea) es mayor que la calidad media que el mismo usuario ha percibido en el tiempo [31], [32]. Cabe destacar que las ganancias de diversidad de multiusuarios se establecen igual a 1, si la $C/(1+N)$ que obtiene el usuario es superior a la máxima $C/(1+N)$ definidas en las propiedades del Scheduler PF, tal y como se ve en algoritmo siguiente:

$$G_{MUG-DL}^{TXi} = 1 \text{ si } CINR_{PDSCH}^{Mi^{sel}} \geq CINR_{MUG}^{Max} \quad (2)$$

$$G_{MUG-UL}^{TXi} = 1 \text{ si } CINR_{PDSCH,PUCCH}^{Mi^{sel}} \geq CINR_{MUG}^{Max} \quad (3)$$

Proportional Demand.

Esta estrategia asigna los recursos de forma proporcional a las demandas máximas de throughput, con lo cual los usuarios que solicitan niveles mayores de throughput máximo obtendrán mayores throughput que aquellos que solicitan menores niveles de throughput máximo. [31]

La ecuación que lo rige es la siguiente:

$$R_{Max-DL}^{Mi^{Sel}} = R_{Eff-Rem-DL}^{TX_i} \times \frac{RD_{Rem-DL}^{Mi^{Sel}}}{\sum_{Mi^{Sel}} RD_{Rem-DL}^{Mi^{Sel}}} \quad (4)$$

Donde :

- $R_{Max-DL}^{Mi^{Sel}}$: Recusos maximos de los usuarios
- $R_{Eff-Rem-DL}^{TX_i}$: Capacidad máxima del equipo de dicho usuario
- $RD_{Rem-DL}^{Mi^{Sel}}$: Es la asignación de recursos restantes para satisfacer la demanda máxima de throughput de los usuarios
- $\sum_{Mi^{Sel}} RD_{Rem-DL}^{Mi^{Sel}}$: Sumatoria de todos los recursos y los usuarios por cada celda

Maximum C/I.

Es la suma máxima de throughput, Por lo tanto, el bloque Scheduling se asigna al usuario que soporta el máximo rendimiento, es decir al usuario que ha reportado el más alto CQI. Favorece con el tamaño promedio de ganancias del canal a los usuarios cercanos a la eNB, los usuarios que están lejos de la eNB (donde se presentan mayores interferencias y atenuaciones) son menos probable en el medio para ser seleccionado por este Scheduler y se verán penalizados al punto que no podrán cumplir con los requisitos de QoS, en este sentido el Max C/I no es justo [32].

La ecuación que lo rigue es :

$$R_{Max-DL}^{Mi^{Sel}} = \frac{TPD_{Rem-DL}^{Mi^{Sel}}}{CTP_{P-DL}^{Mi^{Sel}}} \quad (5)$$

Donde:

- $R_{Max-DL}^{Mi^{Sel}}$: son los recussos máximos de los usuarios
- $TPD_{Rem-DL}^{Mi^{Sel}}$: asignación de Recuros máximos para la mayor tasa de Throughput Demandado.
- $CTP_{P-DL}^{Mi^{Sel}}$: Corresponde al Peak Channel Throughput en el dowlink y en el uplink respectivamente

Software ATOLL.

Es un software que permite el diseño y optimización de red inalámbrica proporcionando predicciones reales utilizando el método de Monte Carlo, Atoll incluye único integrado RAN - múltiples capacidades de diseño de red RAT tanto para 3GPP (GSM / UMTS / LTE) y las corrientes de tecnología 3GPP2 (CDMA / LTE y LTE-A). Proporciona a los operadores y proveedores una herramienta para el análisis de múltiples tecnologías ayudando a automatizar sin problemas los procesos de planificación y optimización, Atoll permite integrar los datos de medición a la red en vivo como indicadores clave de rendimiento, con 7000 licencias en 115 países [33].

Atoll combina de forma única las características arquitectónicas y funcionales que proporcionan a los operadores un marco potente, escalable y flexible para la racionalización de sus procesos de diseño y optimización de la red” [33].

Atoll permite analizar las siguientes interferencias, estas pueden ser: interferencia entre celdas (ICI –Inter cell Interference) se crea cuando el UE se aleja de la cobertura del eNB e ingresa a la cobertura de otro eNB utilizando el mismo bloque de recursos físicos al mismo tiempo, Interferencia inter símbolo (ISI- Inter-Symbol Interference) símbolo se crea por los múltiples trayectos que presenta la señal, interferencia por cobertura debido a desajustes en el Tilt eléctrico o Tilt mecánico, interferencia overlapping por mala planificación de frecuencia y utilización de los mismo canales a distancias muy cortas, interferencias adyacentes por la utilización de mucha Potencia en las celdas vecinas logrando que el terminal se seccione varios canales con frecuencias cercanas”. Y así poder realizar los ajustes adecuado para tener una buena optimización de la red a modelar. Montecarlo es un método numérico que permite resolver problemas físicos y matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias. La simulación de Monte Carlo es una técnica cuantitativa que hace uso de la estadística y los ordenadores para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de sistemas reales no dinámicos [33].

1.8 Diseño metodológico

Se utilizará el método Experimental en la calibración del modelo de propagación estándar para la banda 1900 MHz de LTE en un cluster de 15 sitios ubicados en un área representativa de alto tráfico de voz y datos en la ciudad de Managua. Para evaluar el desempeño de throughput se utilizará el modelo calibrado y las distintas estrategias del Packet Scheduling en una red LTE-A 3gpp del Release 11 con el software de planificación y optimización Atoll. Este método nos permitirá explicar de forma razonable la calibración del modelo de propagación estándar, el funcionamiento, despliegue, optimización y análisis de las distintas estrategias del Packet Scheduling en la banda 2, además nos permitirá experimentar mediante simulación y predicciones que se realizaran con el software Atoll y así poder diagnosticar cual es la mejor estrategia del Packet Scheduling en la asignación de recurso de radio para el futuro despliegue de una red LTE-A en Managua.

Para alcanzar los objetivos del presente trabajo monográfico se empleará las siguientes fases:

Fase 1. Se realizara visitas in situs para la recolección de datos a través de Drive test (DT) con el software TEMS INVESTIGATION para la calibración del modelo de propagación estándar en el área bajo la cual se realizara la evaluación del desempeño del throughput, además se realizara recolección de información para la planificación de la red LTE-A en Atoll tanto de parámetros físicos y lógicos como de ubicación exacta de los sitios, azimut, frecuencia de operación, altura de las antenas, tipo de antena, potencia de transmisión, ancho de banda, Physical cell id, línea de transmisión a utilizar entre otros, además se recolectara información sobre el funcionamiento y capacidad del software Atoll herramienta a utilizar para la planificación de la red LTE-A.

Fase 2. Los Logfile recolectados en el DT se procesarán con el software TEMS DISCOVERY para luego ser cargado en la herramienta de simulación Atoll. Además, se procesarán los parámetros lógicos y físicos recolectados al formato TXT para ser importados en la herramienta Atoll.

Fase 3. Se empleará la calibración automática de Atoll para calibrar el modelo de propagación estándar mediante el módulo CW Measurement contemplado en Atoll y que

permite introducir los valores recolectados del Drive Test tales como longitud, latitud, niveles de RSRP Y PCI para la calibración del SPM.

Fase 4. Se optimizará la red LTE-A para ajustarla al modelo de propagación estándar, la optimización se basará en modificaciones de ajustes físicos y lógicos tales como Tilt eléctrico, Tilt mecánico, alturas de las torres, potencia de transmisión y azimut. Posterior a la optimización de la red LTE-A se procederá a realizar las distintas predicciones que serán útil para analizar y comprobar la optimización, las predicciones a realizar son cobertura por transmisor en el DL, cobertura por nivel de señal en el DL , overlapping en el DL, cobertura por throughput en el DL Y en el UL, cobertura por $C/(I+N)$ en el DL y el UL, cobertura por indicador de calidad en el DL y análisis por área de servicio en el DL y UL.

Fase 5. Se analizarán las estrategias del Packet Scheduling de Atoll mediante predicciones de throughput basadas en simulaciones Monte Carlo en la banda de frecuencia 2 y mediante la evaluación de dichas estrategias recomendar el Scheduler con la que se obtienen mayor rendimiento de throughput.

Finalmente se presentaran las comparaciones de los resultados obtenidos en la calibración del modelo de propagación estándar en comparación al modelo de propagación que trae por default Atoll y la comparación de la evaluación y análisis de las estrategias del Packet Scheduling en LTE-A realizadas con el software Atoll, mediante valores estadísticos proporcionados en las distintas predicciones realizadas con las diferentes estrategias y resultados obtenidos de la simulación de Monte Carlo y así recomendar que estrategia es la más adecuada a utilizar en la asignación de recurso de radio para los usuarios de la red LTE-A para obtener los mejores resultados y mayores velocidades de throughput para su utilización en el futuro despliegue de una red LTE-A en la ciudad de Managua.

Capítulo II. Planificación de la red LTE-A en Atoll

2.1 Introducción

La Planificación de la red LTE-A es importante para el correcto funcionamiento del futuro despliegue, teniendo en cuenta las estimaciones de cobertura, capacidad de los servicios con niveles de calidad aceptable y parámetros dados por el tipo de entorno planificado. Los problemas que se evitan haciendo una planificación de red LTE-A es el sobre dimensionamiento, altos costos de implementación, caídas de llamadas, fracaso tanto para la red en un futuro como para la empresa, así como problemas técnicos, físicos y lógicos de la red.

Como Explicamos en el capítulo I en la sección marco teórico, la cobertura que alcanza LTE-A lo hace mediante múltiples sitios dispersos conectados todos ellos a una sola central tanto para la transmisión como para la recepción. El tipo de nodo que utiliza LTE-A con respecto a LTE se encuentra diseñado específicamente para amplificar y retransmitir las señales de enlaces descendentes y ascendentes. También las redes LTE-A cuentan con un método de coordinación de interferencia para Células Macro lo cual garantiza cobertura en lugares de puntos con mayor tráfico. La obtención de mayor velocidad para LTE-A lo hace mediante las técnicas de múltiples antenas MIMO. Esta técnica permite la transmisión y recepción en una igualdad de arreglos de antenas, este arreglo puede ser 4X2 o bien 8X4. La parte importante de la calidad del servicio se utiliza la agregación de portadoras el cual permite tener combinaciones múltiples de canales en el dispositivo proporcionando así un canal de datos más grande para los usuarios conectados.

En este capítulo se describe el desarrollo de la planificación de una red LTE-Advanced en base a parámetros físicos y lógicos de la red existente de telefonía móvil LTE en Managua. El desarrollo del capítulo se presenta según las siguientes etapas reflejadas con más detalle en la figura 14. Cabe señalar que estas etapas fueron tomadas del libro que lleva como título: THE LTE-ADVANCED DEPLOYMENT HANDBOOK THE PLANNING GUIDELINES FOR THE FOURTH GENERATION NETWORKS en el que

explica las etapas más comunes que hace cualquier operador para planificar, diseñar y optimizar redes LTE-A [17].

- Etapa 1: consiste en la Planificación Nominal que se basa en la descripción del dimensionamiento de la red LTE-A así como la ubicación de los sitios. Información de transmisores y celdas a configurar.

- Etapa 2: Planificación detallada : incluye la información detallada de la tecnología de radio de la red LTE-A como: elección de la herramienta de planificación, elección de la banda de operación según la normativa 3GPP, tipo de antena a utilizar, especificaciones generales de la configuración de la antena, elección del modelo de propagación, pasos para la configuración de la red con a herramienta Atoll las cuales incluyen : mapas digitales , configuración de los sitios , transmisores y la declaración de vecinas.

- Etapa 3: Optimización: como etapa final se abordara específicamente solo los escenarios de simulación y parámetros que se emplearan para las simulaciones ya que la parte descriptiva de la optimización se estará abordando más adelante con más detalle en el capítulo IV nombrado de esta misma manera.

2.2 Método para la Planificación de la red LTE-A

La planificación de la red básica de LTE-A consiste en garantizar la capacidad suficiente con un nivel de calidad aceptable. El termino capacidad se refiere a obtener óptimos recursos de radio en base al dimensionamiento que la red posea y el termino calidad hace referencia a obtener menos tasa de caída de llamadas, perfiles de retardo, perdida de paquetes, entre otras que van de acuerdo con la capacidad solicitada y ofrecida según el entorno planificado. [17]

Los elementos que componen la planificación de una red LTE-A se detallan a continuación en la figura 14:

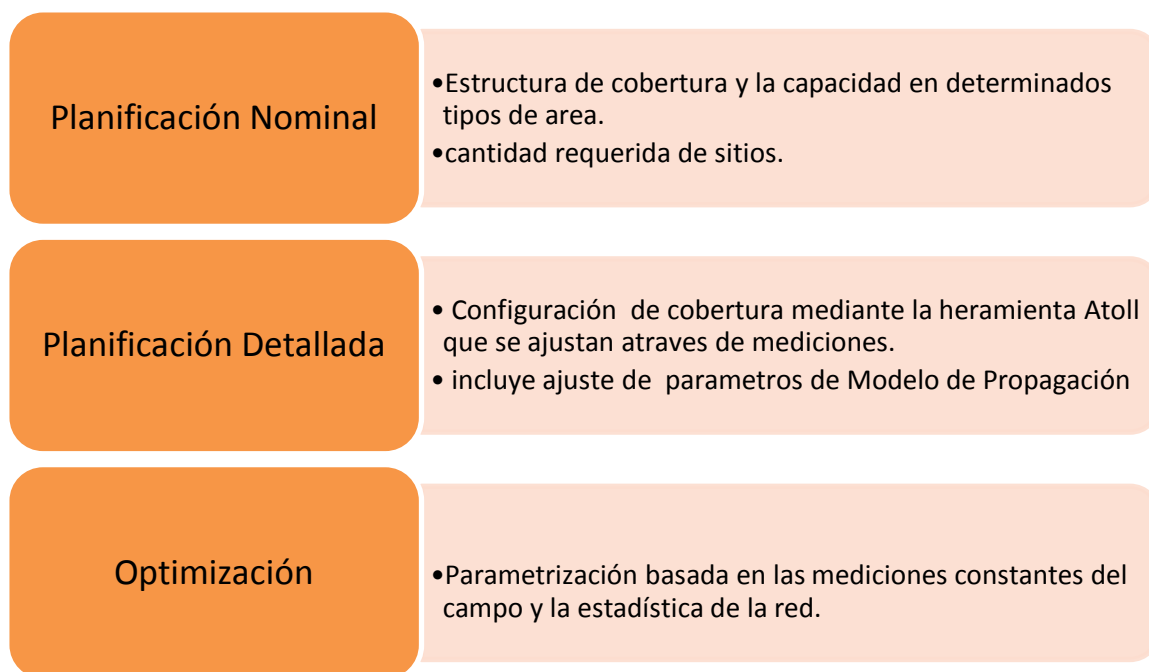


Figura 14. Método de Planificación para una red LTE-A [19].

En nuestro estudio de planificación de red LTE-A se hará uso del método de planificación mostrado en la figura 14. Las siguientes secciones se abordarán elementos y parámetros de configuración propios de la red LTE que actualmente operan en esta misma zona de estudio. Cabe señalar que los resultados en la etapa de optimización de la red se abordaran en el capítulo IV nombrado de esta misma manera.

2.3 Planificación Nominal de la red LTE-A.

El foco de la etapa de planificación nominal es el de estimar la cantidad requerida de sitios que proporcionarán los servicios con una calidad suficientemente alta antes de que comience la implementación de la red [17].

Dimensionamiento de la red.

El dimensionado de la red es clave para el despliegue futuro de redes como LTE-A, el tráfico generado depende de la zona a evaluar en este caso se evalúa cada eNodeB con una carga de tráfico de usuario de 70 % que equivale a 8,232 usuarios. En cada sector el número de portadoras es 4 para la evaluación del throughput como se ve en la tabla 1 y el número de usuarios por carrier se calcula multiplicando el número de usuario que es 70 por el número de carrier que es 1. Obtenemos 70 a ese resultado le sacamos el 70 % y obtenemos 49 usuarios por cada Carrier el número de usuarios por sector se saca multiplicando el número de portadoras (4) por el número de usuarios que es (70) eso nos da un resultado de 280 a eso le sacamos el 70 % y nos da 196 usuarios por sector como lo muestra la tabla 1. el total de número de usuarios en toda la red para los 15 sitios se saca multiplicando el número de usuarios por carrier por el total del número de sectores que es 42 eso nos da un resultado de 11,760 usuarios. a este resultado le aplicamos el 70% y nos da un total de 8,232 usuarios para los 15 sitios de la red. ya que el número de sectores varia por sitio se hace un cálculo de cuantos sitios tienen 2, 3 y 4 sectores, en total nos da que hay 4 sitios con 2 sectores, 10 sitios con 3 sectores y 1 sitio con 4 sectores, la suma de todos nos da un total de 42 sectores para toda la red.

Tabla 1. Modelo de tráfico. Elaboración propia.

Número de Portadoras	70 % de Tráfico en la red	# de sitios	# de Usuarios por carrier	# de usuarios por sector
4	8,232 Usuarios.	15	49	196

Site Survey.

El site survey es importante en la etapa inicial de planificación y diseño de una red, ya sea para hacer cambios físicos en la red que incluyen la modificación o la adición de nuevos sitios o equipos. Por lo tanto, se hace un análisis previo al site survey. Que incluye elementos como la definición del área a trabajar mediante fotos aéreas con aplicaciones como Google Earth y Google Maps, el drive test es un elemento importante para el análisis previo ya que nos permite validar los resultados obtenidos de las predicciones. Teniendo planteado este análisis se lleva a cabo el site survey como se muestra en figura 15. Nuestro site survey está compuesto por los equipos como el GPS el cual nos permitirá obtener las coordenadas de ubicación del sitio, una cámara de alta definición para la torre, un prismático para ver otros sitios distantes de transmisión, brújula para la orientación de azimut, teléfono móvil para comprobar los niveles de la señal y aplicaciones de brújula en caso que no se obtenga este equipo y por último una lista de chequeo que incluye el nombre de los sitios, la fecha, altura de las antenas y azimut de los sectores.

La autoconfiguración de los parámetros de radio es una característica de la generación de redes móviles especialmente para LTE y es el inicio de la etapa del diseño [34]. Los datos recopilados de la red existente LTE mediante el site survey incluyen latitud, longitud de los sitios ubicados en la zona de trabajo, azimut de los sectores y la altura de las antenas. Cada estación base contiene 3 sectores respectivamente es decir hay sitios que tienen solo 2 sectores o 4 de los cuales son nombrados según el sitio ejemplo site: MN01- sector: MN01A, MN02B, MN03C. Donde MN significa el nombre del área con el # del sitio y ABC son los sectores del sitio. El ejemplo de un Site survey se muestra en la siguiente figura:

REPORTE DE DISEÑO DE SITIO 3G.							
INGENIERO RF							
REVISADO POR		Xitely Romero					
APROBADO POR		José Maria Gomez					
		Norman Vargas					
Fecha de Visita		18-ene-17					
Fecha de Reporte		20-ene-17					
ID DEL SITIO	MN01	NOMBRE	Altagracia Norte				
COORDENADAS DEL SITIO NOMINAL:							
Latitud	12°8'33.36"N		Longitud	86°17'22.56"W			
Map Datum	WGS 84		Frecuency	1,900 MHZ			
CONFIGURACIÓN DEL SITIO NOMINAL:			Fase	2013			
SITIO POR:		CAPACIDAD					
ID DE SITIO	NOMBRE		SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C	SECTOR D	SECTOR E
MN01	Altagracia Norte		SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C	SECTOR D	SECTOR E
			25°	130°	200°		
			0°	0°	0°		
			2°	2°	0°		
			28	28	28		
			HBX-6516DS-VTM	HBX-6516DS-VTM	HBX-6516DS-VTM		

Figura 15. Ejemplo de Site Survey. Elaboración Propia.

Luego del site survey se localizaron 15 sitios en un área representativa de la ciudad de Managua donde el tráfico de usuarios es alto y por lo tanto la ubicación de los sitios se basa en el porcentaje de taza de carga demandados por los usuarios, en este caso tenemos una taza de carga de 70% que equivale a 8,232 usuarios desplegados en dicha zona. En la figura 16 se muestra la ubicación exacta de los sitios con sus respectivos sectores.

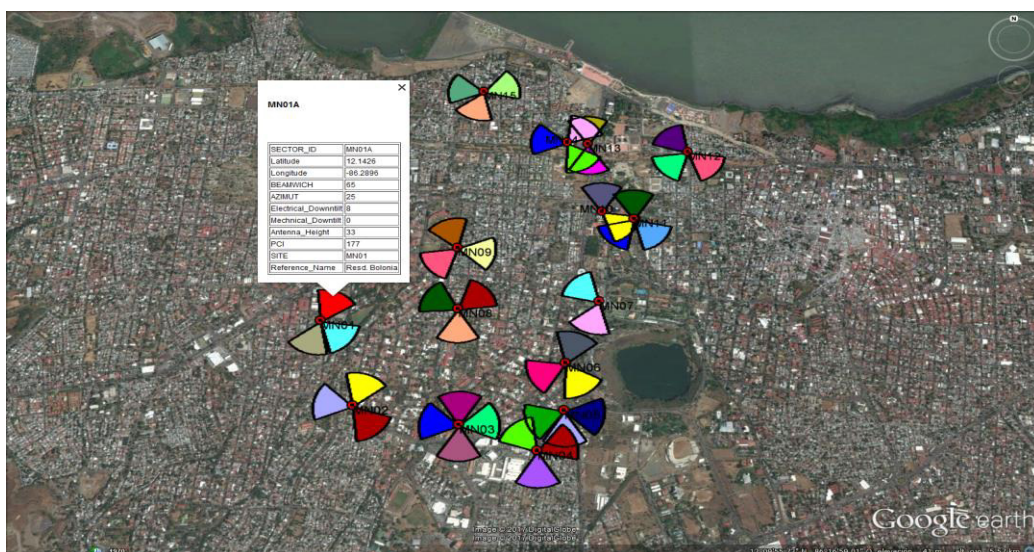


Figura 16. Ubicación de sitios en Google Earth. Elaboración Propia.

Otro tipo de datos recopilados para la red es la de los transmisores la cual veremos en la tabla 2:

Tabla 2. Parámetros y valores de los transmisores. Elaboración propia

Parámetros	Valores
Tipo de Transmisores	Intra- red (servidor e interferencia)
Antena	HBX-6516-VTM_2-45_03DT_1920
Altura(m)	Valor Relativo-----
Azimuth	Valor Relativo -----
Downtilt Mecánico	Valor Relativo -----
Downtilt eléctrico adicional	0
TMA	Equipo TMA predeterminado
Fibra óptica	0
Equipamiento del Transmisor	Equipo predeterminado eNode-B
Longitud del Feeder (recepción)	0
Longitud de Jumpers	5 m
Pérdidas diversas (transmisión) dB	0
Pérdidas diversas (recepción) dB	0
Total de Pérdidas (transmisión) dB	1
Total Pérdidas (recepción) dB	-2.16
Figura de ruido	5-4
Modelo de propagación principal	SPM LTE 1,900 Mhz.
Radio de cálculo principal	4,000
Resolución principal (m)	5
Radio Hexagonal	350

Los valores de altura (m), Azimut y Tilt Mecánico son relativos debido a que cada transmisor de cada sector varía su valor según el tráfico de usuarios de la red y la propagación de la señal, cabe destacar que estos valores son parte esencial de la optimización. La variación del tilt busca reducir la interferencia inter-celda y de esta manera optimizar las redes en términos de cobertura y capacidad. Existen dos tipos de inclinación de la antena: tilt mecánico y tilt eléctrico, el primero varía físicamente la inclinación de la antena, mientras que el segundo método de variación de la inclinación se realiza ajustando la fase de los diferentes segmentos eléctricamente [35].

Otro tipo de parámetro a la que haremos referencia según la normativa 3gpp es la configuración de celdas para la banda de frecuencia de operación 2 que se analizarán en este proyecto.

En la tabla 3 se muestra los datos recopilados de las celdas con la banda 2. Observe que para la banda de frecuencia 2 se agregaron cuatro portadoras de las cuales poseen diferentes números de canales y nombres. El ancho de banda es de 15Mhz para la banda de operación, la máxima potencia no varía es siempre la misma para cada portadora, la celda es Macro es decir que proporcionar mayor cobertura de radio. El Scheduler utilizado es Proportional fair ya que proporciona equidad entre los UEs mientras se maximiza la capacidad de la celda.

Tabla 3. Configuración de parámetros para la plantilla Cells de Atoll. Elaboración Propia

Banda 2 #de portadoras	Name	Frecuency Band		Layer	PCI	Cell Type	Channel Number	Scheduler	Max Power
1	01A(0)	Eutra 15mhz	Band 2-	Macro	177	LTE;LTE-A pcell	675	Propotional fair	49
2	01A(1)	Eutra 15mhz	Band 2-	Macro	177	LTE;LTE-A Scell DL;LTE- A Scell UL	825	Propotional fair	49
3	01A(2)	Eutra 15mhz	Band 2-	Macro	177	LTE;LTE-A Scell DL;LTE- A Scell UL	975	Propotional fair	49
4	01A(3)	Eutra 15mhz	Band 2-	Macro	177	LTE;LTE-A Scell DL;LTE- A Scell UL	1125	Propotional fair	49

La configuración de las celdas es importante ya que si la celda no contiene un ID físico no es posible la comunicación por radio con los equipos de los usuarios (UEs) y entonces no se detecta la celda servidora, es por eso por lo que las secuencias de señal de referencia se construyen a partir de un sistema bidimensional pseudo aleatoria y una

secuencia ortogonal bidimensional de secuencia. Hay 168 secuencias pseudo aleatorias que son vistos como grupos de identidad celular. Cada uno de ellos tiene tres secuencias ortogonales. Esto conduce a 504 Physical cell ID disponibles para la red [34].

2.4 Planificación detallada.

La planificación detallada ofrece una estimación más precisa de la cobertura y la calidad que se aplica al despliegue real. Esta planificación se realiza sobre la base de los 15 sitios en un área de alto tráfico en la ciudad de Managua. Con el uso del modelo de propagación estándar calibrado previamente el cual se abordará con detalle en el capítulo III, configuraciones de parámetros (diseño de la red en Atoll), mapas digitales y la utilización del modelo calibrado SPM también en Atoll [17].

Elección de la herramienta de Planificación.

Se ha escogido el software Atoll por sus múltiples ventajas y características que facilitan el análisis experimental de este estudio. A continuación, se enumeran las razones:

- Primeramente, porque es una herramienta de simulación que soporta múltiples tecnologías de radio entre ellas la de LTE-A el cual es de nuestro interés en este estudio.
- Segundo por que planifica, diseña y optimiza redes de telefonía móvil brindándole un continuo monitoreo desde su etapa de inicio hasta su etapa final de la red.
- Tercero por lo que posee entornos más reales en base a terrenos geográficos, estadísticas de tráfico de usuarios, configuración y técnicas propias de la tecnología a desplegar como: múltiples antenas inteligentes (MIMO, SU-MIMO Y MU-MIMO) en el caso de LTE-A y agregación de portadoras intra e inter banda.
- Se pueden reajustar parámetros lógicos que vienen por defecto como son los modelos de propagación con el objetivo de lograr adaptarlos al entorno en que se está trabajando y con ello obtener mejores niveles de señal y estimar las perdidas por trayectoria entre el transmisor y el receptor. Por

último, es fácil de utilizar y se obtienen resultados óptimos para el análisis de cobertura tanto para la señal como para la calidad de la misma.

Existen muchas otras características y ventajas no menos importantes que las ya antes mencionadas pero que sin embargo, se estarán desarrollando a lo largo de este trabajo monográfico [33].

Elección de banda de Frecuencia.

Las bandas utilizadas en este proyecto fueron elegidas según el release 11 normados por la 3gpp (Third Generation Partnership Project) y también por la operabilidad con que tienen desplegado actualmente la red LTE los operadores en Nicaragua [7], [8]. Otro aspecto muy importante para dichas elecciones fue la calibración basado en el modelo calibrado SPM en la banda de 1900 MHz, cabe destacar que se utilizaron los valores de K de este modelo calibrado el cual se explicara su proceso más adelante en este mismo capítulo [36]. Tanto en LTE como en LTE-A el E-UTRA está diseñado para operar en las bandas de operación definidas en la Tabla 4 [37].

Tabla 4. EUTRA OPERING BANDS. Elaboración propia

E-UTRA Operating Band	Uplink (DL) Operating Band BS receive UE transmit	Downlink(DL) Operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	$F_{UL_Low} - F_{DL_High}$	$F_{UL_Low} - F_{DL_High}$	
2	1850 Mhz - 1910 Mhz	1930 Mhz – 1990 Mhz	FDD

Elección del tipo de antena.

El modelo de la antena es un Andrew HBX-6516DS-VTP dual Pol. Se escogió este modelo de antena en base a dos factores: el primero es la característica de operar en la banda comprendida entre 1710 a 2180 Mhz, lo cual permite la banda de operación

2 la cual estamos utilizando en este proyecto investigativo y el segundo factor es que actualmente en el mercado las empresas de telefonía móvil utilizan este tipo de antena dual Pol para redes LTE. En la tabla 5. Se muestran las especificaciones [37].

Tabla 5. Especificaciones generales de la antena [38]

Especificaciones generales:

Tipo de antena	Dualpol quad		
Marca	Dualpol / Teletilt		
Banda de Frecuencia de Operación	1710-2180 Mhz		
Especificaciones Eléctricas			
Banda de Frecuencia (Mhz)	1710-1880	1850 -1990	1920-2180
Anchura de haz, Horizontal , (grados)	67	65	63
Ganancia dBm	15.6	15.9	15.9
Ganancia dBi	17.7	18.0	18.0
Anchura de haz vertical (grados)	7.5	7.0	6.5
Inclinación del haz (grados)	0-10	0-10	0-10
Front- to- Back Ratio at 180° , dB	30	30	30
Insolación,dB	30	30	30
VSWR / perdida de retorno , dB	1,4:1 /15.6	1,4:1 /15.6	1,4:1 /15.6
Productos de inter modulación, 3rd orden, 2x20 w, dBc	-153	-153	-153
Máxima potencia de entrada (Watts)	250	250	250
Polarización	±45°	±45°	±45°
Impedancia (Ohms)	50	50	50
Protección contra rayos	dc Ground	dc Ground	dc Ground

Elección del modelo de propagación.

El objetivo de los modelos de propagación es el de estimar las pérdidas de señal que se ven afectadas por múltiples obstáculos en el medio de propagación para que la energía electromagnética sea transportada entre una antena transmisora y otra receptora de forma más adecuada para su propagación [39].

Según este concepto existen múltiples modelos tanto empíricos como teóricos. Los empíricos se basan en la magnitud de la intensidad de campo o en la potencia, que puedan expresarse ya sea gráficamente o matemáticamente. Y los modelos teóricos se basan en considerar todos los obstáculos como objetos de un tamaño mucho mayor a la longitud de onda, mediante este tipo de modelo se pueden considerar las reflexiones, refracciones, difracciones e incluso la propagación por dispersión troposférica en función de la distancia entre antenas, los obstáculos existentes entre ellos o la frecuencia portadora [40].

En la tabla 6 se muestran cuatro tipos de modelos de propagación de los cuales se tomaron en cuenta para elegir un único Modelo de propagación en esta investigación. Se comparó el Modelo SPM con los otros tres modelos en base al tipo de entorno, geografía del terreno, distancia del transmisor a la antena del receptor, rango de frecuencias, el tipo de tecnología y el tipo de celda. Como vemos en la tabla 7 los tipos de entornos varían para cada modelo, por ejemplo, el SPM trabaja en entornos urbanos, suburbanos y rural en cambio el Okumura extendido, el Cost 231 (Walfish Ikegami) y el Cost-Hata solo son válidos para entornos urbanos por lo tanto el SPM tiene mayor ventaja al trabajar en 3 tipos de entornos ya que define entornos de una manera más exacta. Otro factor muy importante para la elección del modelo de propagación es el ajuste de la calibración para el modelo. El SPM (Standar Propagation Model) es el único modelo apto para la calibración con respecto a los modelos de la tabla 7. Okumura extendido Cost 231 (Walfish- Ikegami y el Cost Hata que permite este ajuste para el rango de la banda de 1,900 Mhz y con ello obtener resultados de predicciones de cobertura de acuerdo a la realidad el cual es uno de nuestro análisis en este estudio. En la tabla 6 se observa que el tipo de tecnología varía pero que, Sin embargo, la tecnología que predomina es la de LTE ya que es otro factor muy importante para este estudio porque es la tecnología con la que se correlaciona LTE-A y con la que se está analizando en dicho estudio [4],[41],[42],[43],[44],[45].

Tabla 6. Características comparativas para tipos de modelos de propagación en LTE. Elaboración Propia

Nombres de Modelos	Tipo de entorno	Rangos de frecuencias	Altura del TX	Distancia del Tx a la antena Rx	Tipo de tecnología	Tipo de geografía del terreno	Factor para predicciones	Tipo de Celda
Standar Propagation Model (SPM)	<ul style="list-style-type: none"> Urbanos Suburbano Rural 	150-3500 Mhz	30-100m	1 a 20km	<ul style="list-style-type: none"> GSM 900 1800 UMTS CDMA One CDMA 200 Wimax WIFI LTE 	<ul style="list-style-type: none"> Relieve Vegetación Clima etc. 	<ul style="list-style-type: none"> LOS NLOS 	<ul style="list-style-type: none"> Macro celdas
Okumura extendido	<ul style="list-style-type: none"> Urbanos 	150 a 1920 Mhz	30m -100 m	1km a 100km	<ul style="list-style-type: none"> LTE 	<ul style="list-style-type: none"> Terreno Montañoso Mar Cierra Espacios abiertos 		Macro celdas
Cost-231(Walfish-Ikegami)	<ul style="list-style-type: none"> Urbanos 	800 -2000 Mhz ,	4 - 50 m	1 a 3 m	<ul style="list-style-type: none"> LTE 		<ul style="list-style-type: none"> LOS NLOS 	Macro celdas
Cost-Hata		1500-2000Mhz		1-20Km	<ul style="list-style-type: none"> GSM 1800 UMTS CDMA2000 LTE 			

Según las características antes mencionadas y analizadas de los 4 modelos de propagación el estándar (SPM) con respecto a los otros modelos de propagación es el que nos presta mejores condiciones para el desarrollo e implementación en el software Atoll para este proyecto. Ya que según el entorno en el que trabajaremos es urbano en una zona densamente poblada por lo tanto necesitamos utilizar tipo de celdas macro que son para obtener mayor cobertura debido a la demanda tráfico de usuarios y por ser una zona urbana y de geografía LOS (con línea de vista) facilitara aún más la comunicación entre la antena transmisora con el equipo receptor por lo que no hay obstáculos en dicha zona. El Marge de frecuencia es el más adecuado ya que es válido para las frecuencias de 1900 Mhz. Cabe destacar que no solo las características analizadas teóricamente fueron un factor para la elección de dicho modelo, sino que también se realizaron mediciones de campo para los 4 modelos y se obtuvieron estimaciones que no son adecuadas en comparación del Standar Propagation Model que si se obtuvieron estimaciones buenas y ajustable a este modelo. La comprobación de estas estimaciones se estará validando en el capítulo III, el cual nos habla sobre la calibración del SPM para así estimar las perdidas por trayectoria entre el transmisor y el receptor y con ello lograr mejores predicciones a nivel de señal. y el último factor que es muy importante para la elección de este modelo es que actualmente los operadores en Nicaragua están utilizando este modelo para sus redes desplegadas en LTE.

Configuración de la Red en la Herramienta Atoll.

Como primera iniciativa para la configuración en Atoll empezamos creando un nuevo proyecto de tipo LTE (ver figura 17) luego, se escoge el sistema de coordenadas de acuerdo al país en el que vamos a trabajar en este caso sería Nicaragua (WGS84 UTM Zones 16N) como se muestra en la figura 18.

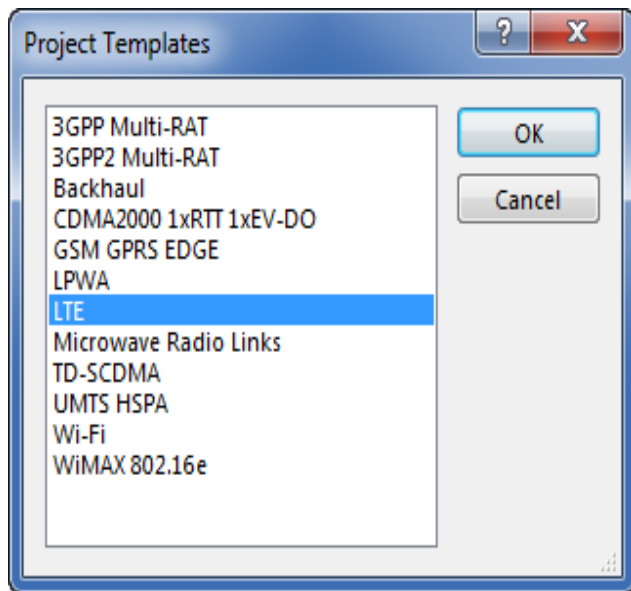


Figura 17. Creación de nuevos proyectos en Atoll.
Elaboración Propia.

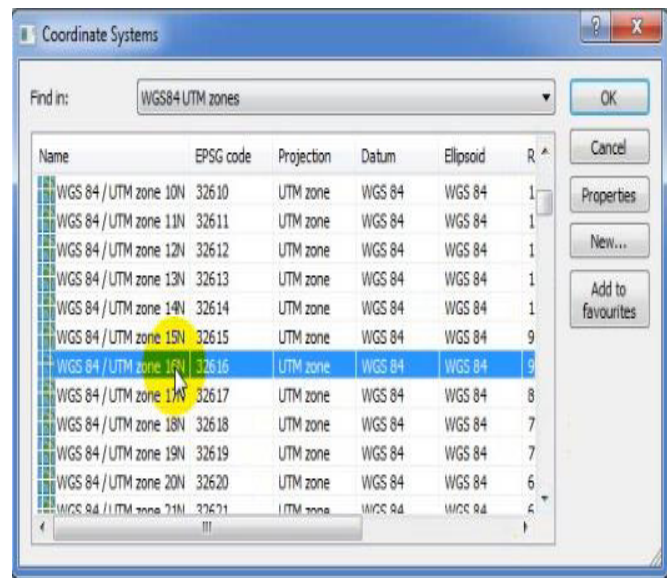


Figura 18. Selección de coordenadas. Elaboración Propia.

Seguido de esto pasamos a la importación de los mapas digitales como lo muestra la figura 19, con una resolución de 5 metros ya que entre mayor sea la resolución obtendremos mejor visualización para las predicciones, una vez que tenemos la importación de los mapas digitales, Clutter Clases, Clutter Heights, altitudes y vectores, se continuará con los parámetros Técnicos del sistema LTE/LTE-A.

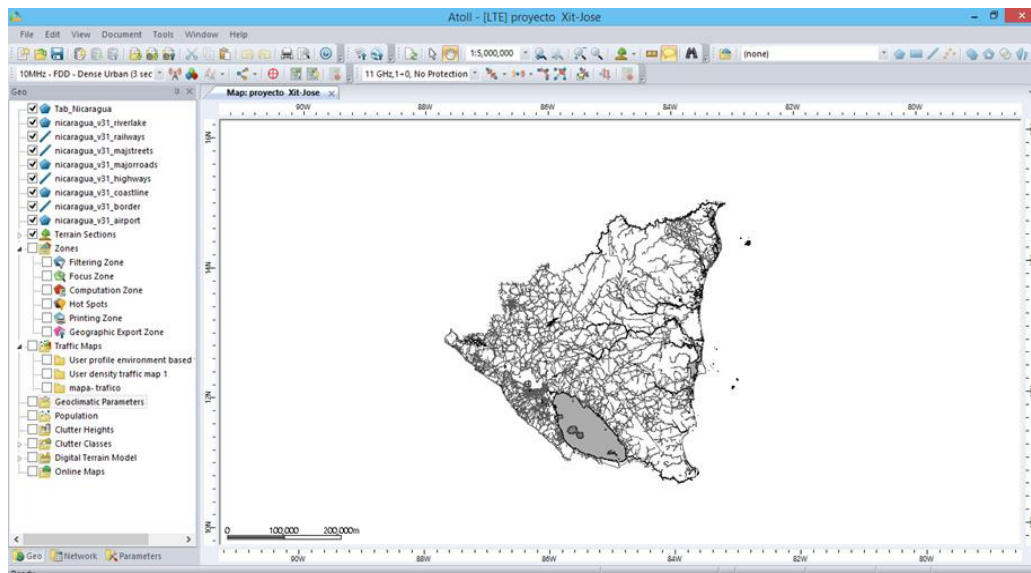


Figura 17. Mapa de Nicaragua. Elaboración Propia.

Como se mencionó anteriormente en la tabla 4, la banda utilizada es la 2 modo Duplexación por División de Frecuencia (FDD) para LTE, con un ancho de banda de 15 MHz, una vez configurada la plantilla de E-UTRA banda 2 -15 MHz properties en Atoll. Seguimos con la configuración e importación de los sitios según como muestra la tabla 7. Para la configuración de esta tabla basta con llenar los campos de nombre, longitud y latitud de los sitios en el que se verán reflejados en el mapa o zona del diseño de la red.

Tabla 7. Configuración de la tabla sites en Atoll. Elaboración Propia.

Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Support Height (m)	Max S1 interface Throughput (DL) (Kbps)	Max S1 interface Throughput (UL) (Kbps)
MN01	86°17'22.56"	12°8'33.36"	[95]	33	950,000	950,000
MN02	86°17'14.97"	12°8'13.56"	[109]	24	950,000	950,000
MN03	86°16'53.76"	12°8'9.24"N	[108]	30	950,000	950,000
MN04	86°16'38.28"	12°8'3.48"N	[110]	24	950,000	950,000
MN05	86°16'32.88"	12°8'12.48"	[113]	25	950,000	950,000
MN06	86°16'32.52"	12°8'23.28"	[117]	30	950,000	950,000
MN07	86°16'25.32"	12°8'38.04"	[80]	36	950,000	950,000
MN08	86°16'54.48"	12°8'36.24"	[86]	24	950,000	950,000
MN09	86°16'54.84"	12°8'51.36"	[74]	24	950,000	950,000
MN10	86°16'24.24"	12°9'0.72"N	[60]	15	950,000	950,000
MN11	86°16'17.44"	12°8'58.85"	[60]	12	950,000	950,000
MN12	86°16'5.16" W	12°9'16.56"	[49]	24	950,000	950,000
MN13	86°16'26.9" W	12°9'18.65"	[59]	18	950,000	950,000
MN14	86°16'31.44"	12°9'19.08"	[57]	54	950,000	950,000
MN15	86°16'49.8 W	12°9'33.12"	[47]	30	950,000	950,000

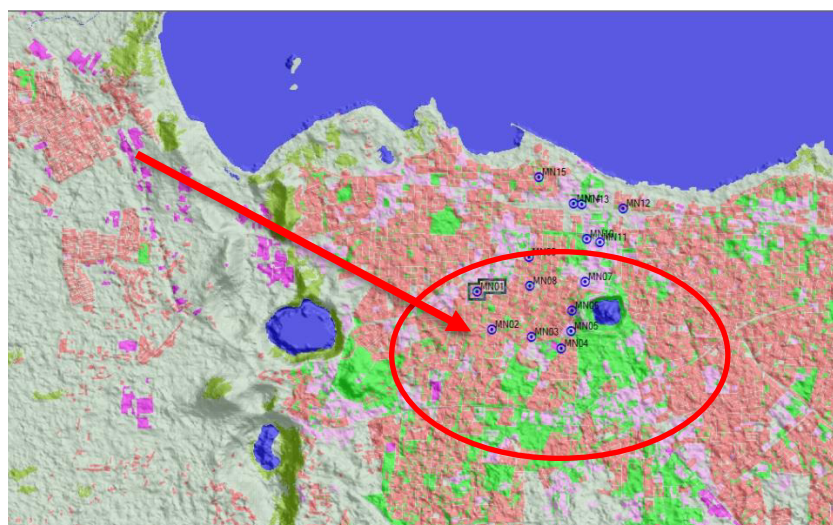


Figura 18. Ubicación de sitios en Atoll. Elaboración Propia.

Una vez que tenemos configurado los 15 sitios en Atoll como se muestra en la figura 20 se configuraran los transmisores los cuales permitirán la transmisión a los UE que estén recibiendo señal de cada transmisor de la red según la zona en que se encuentren. Para la configuración en Atoll se utilizan los siguientes parámetros de la tabla 8 y 9.

Tabla 8. Parámetros de los transmisores en Atoll. Elaboración Propia.

Site	Transmitters	Transmitters Type	Antenna	Height	Azimuth	Mechanical Downtilt	Reception losses
MN01	01A	Intra- network (server and interferer)	HBX-65-VTM_port2- 45_05DT_1920	28	25	2	-2.16
MN01	01B	Intra- network (server and interferer)	HBX-65-VTM_port2- 45_05DT_1920	28	130	-2	-2.16
MN01	01C	Intra- network (server and interferer)	HBX-65-VTM_port2- 45_05DT_1920	28	200	0	-2.16
MN02	02A	Intra- network (server and interferer)	HBX-65-VTM_port2- 45_05DT_1920	25	20	2	-2.16
MN02	02B	Intra- network (server and interferer)	HBX-65-VTM_port2- 45_05DT_1920	25	140	-2	-2.16
MN02	02C	Intra- network (server and interferer)	HBX-65-VTM_port2- 45_05DT_1920	25	280	2	-2.16

Tabla 9. Otros parámetros de los transmisores en Atoll. Elaboración Propia

Main Propagation Model	Main calculation radius (m)	Main Resolution (m)	Number of Transmission Antenna Ports	Number of Reception Antenna Ports
SPM LTE 1900 MHZ	4,000	5	2	2
SPM LTE 1900 MHZ	4,000	5	2	2
SPM LTE 1900 MHZ	4,000	5	2	2
SPM LTE 1900 MHZ	4,000	5	2	2
SPM LTE 1900 MHZ	4,000	5	2	2
SPM LTE 1900 MHZ	4,000	5	2	2

Como hemos mencionado antes en la Tabla 3. Configuración de parámetros para la plantilla Cells de Atoll los parámetros a configurar son el PCI, el tipo de la celda, números de canales, layer, máxima potencia y la banda de frecuencia. Ahora montamos la antena especificada según las características apropiadas para la tecnología de radio en este caso es la del modelo el HBX-6516DS-VTP dual Pol la cual posee como característica fundamental el rango de frecuencia entre 1710 a 2180Mhz [46]. Ya que Atoll permite montar nuevos modelos de antenas además de los que trae por defecto, esto será una ventaja para nuestro estudio para el diseño de la red que estamos diseñando en Atoll. En la figura 21 le mostramos como montar antenas en Atoll.

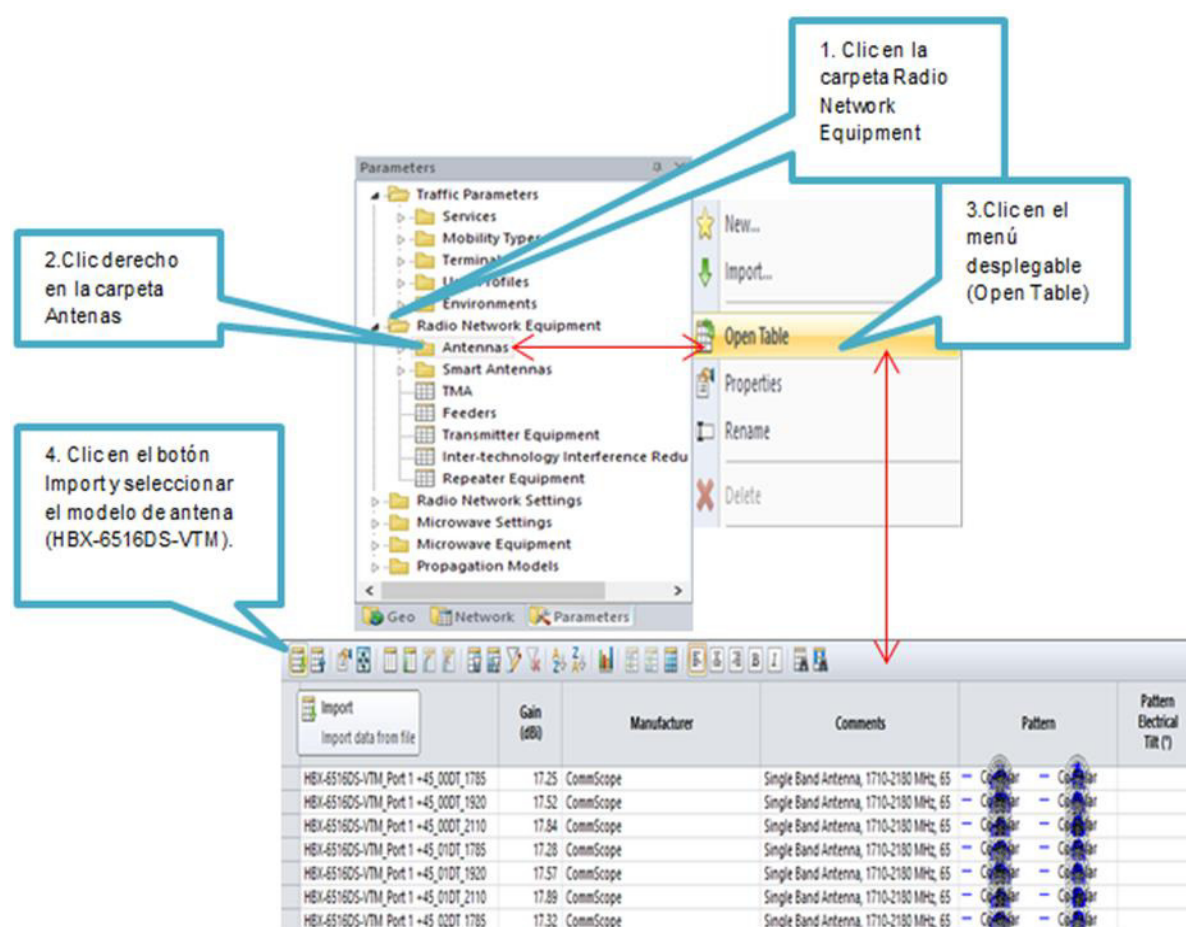


Figura 19. Importación de antenas en Atoll. Elaboración Propia.

Primeramente, tenemos que tener los patrones de radiación descargados directamente del fabricante de dicha antena para poder importarlos en la herramienta de simulación en este caso Atoll. Seguido de eso nos vamos a parámetros luego seleccionamos radio network equipment, seleccionamos la carpeta antenas y clic derecho en open table para poder importar el archivo txt de los patrones de radiación de la antena y listo terminamos con esa etapa de configuración. Seguido de eso asignamos vecinas con el propósito de evitar las caídas de llamadas (DROP CALL) o caída de datos (PS DROP) durante la movilidad de los UE ya que con la correcta asignación de vecinas este problema no se dará y se aprovecharán aún más los recursos de radio teniendo con ello un eficiente traspaso de llamadas.

Para la declaración de vecinas manualmente en Atoll se debe crear una tabla en Excel luego que tenemos declaradas las posibles vecinas nombradas por sector y plasmadas en un archivo txt. pasamos a hacer los siguientes pasos:

1. Clic en network
2. Clic derecho en transmitters, ahí mismo seleccionamos Neighbours.
3. Seleccionamos el intra-technology y después en Automatic Allocation.
4. Luego nos aparecerá la ventana Automatic Neighbour Allocation
5. Por ultimo clic en calculate (el resultado se muestra en la figura 22)

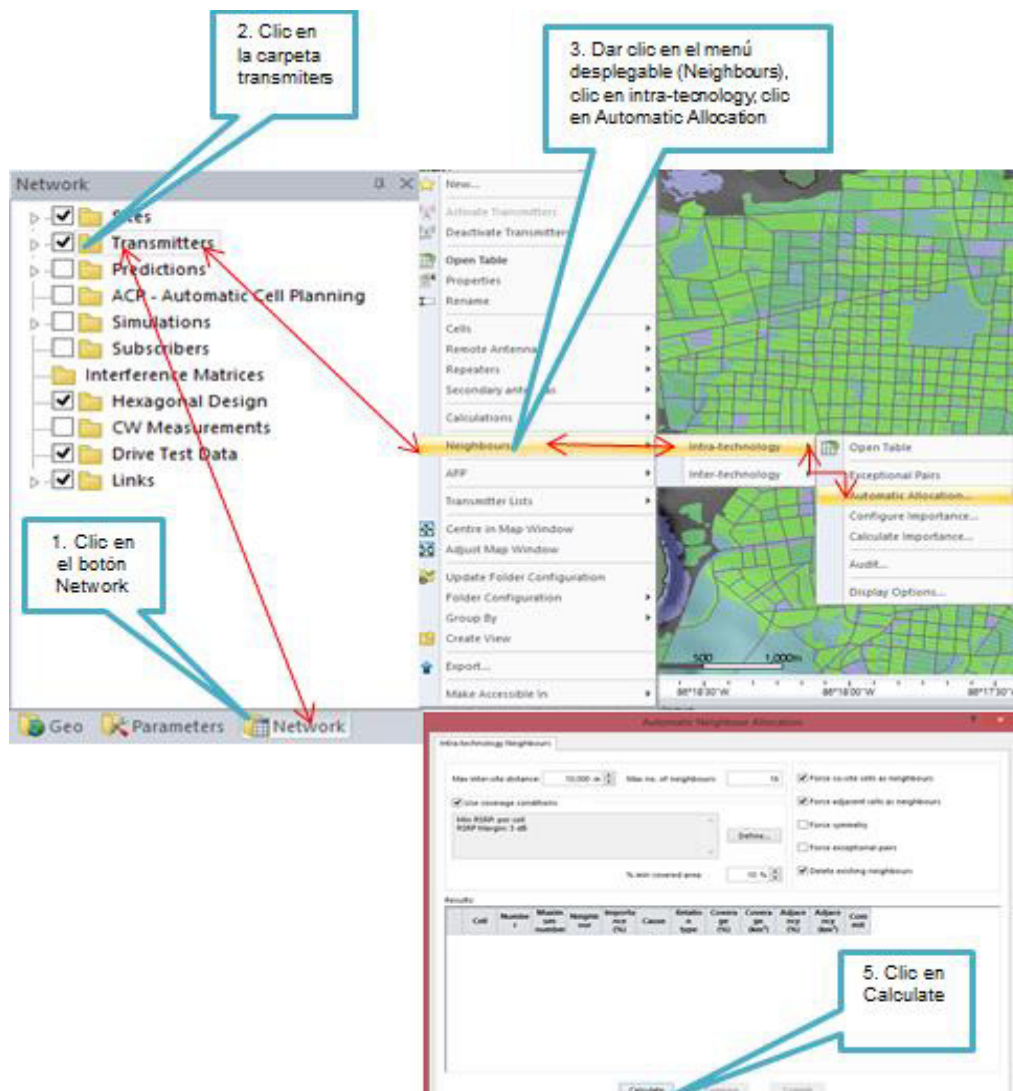


Figura 20. Asignación de vecinas para sitios. Elaboración Propia.

2.5 Optimización de la red.

En esta etapa de la planificación solo abordaremos elementos fundamentales que se abordaran con mayor detalle en el capítulo cuatro de esta misma investigación. Normalmente la optimización se divide en la optimización previa al despliegue de la red y la optimización después de dicho despliegue. Cuando se despliega la red las cifras de capacidad cambian durante el funcionamiento de la red es decir se necesita un reordenamiento constante durante toda la vida de la red, para eso se hacen pruebas de

campo regulares y el recogido de estadísticas de la red sobre el uso de la capacidad, las cifras de rendimiento y las fallas que ocurren [17].

En la herramienta Atoll la optimización es un papel importante para tener resultados de predicciones un poco más reales. En nuestra investigación la optimización se realizó cambiando parámetros como: Tilt Mecánico, altura de la antena y ajustes de potencia.

Escenario de Simulación.

En la tabla 10. se evalúa las 4 estrategias de packet scheduling para la banda 2 con un ancho de banda de 15 MHz teniendo en cuenta el tráfico de un 70% también se hará el análisis de throughput con el propósito de obtener un mayor desempeño de la red en base a rendimiento y velocidad de datos.

Tabla 10. Escenarios de simulación. Elaboración propia

Escenario	Bandas (Mhz)	Técnicas de Packet Scheduling	Tráfico %	Ancho de Banda
Escenario 1	Banda 2	RR, PF,PD,M C/I	70	15 Mhz

Parámetros empleados para la simulación.

En la tabla 11 y 12 se observan los parámetros de entrada para el análisis de los escenarios

Tabla 11. Parámetros generales para las simulaciones. Elaboración Propia

	Parámetros	Valor
Capa PHY	Frecuencia de portadora	1,900 Mhz
	Ancho de banda	15Mhz
	# de portadoras	4
	Potencia de Tx en el eNB	49.03 dBm
	Tipo de modulación	QPSK,16QAM y 64 QAM
	# de antenas de Tx	2
	# de antenas de Rx	2
Cells	Max número de celdas secundarias	DL = 3 - UL = 3
	Layer	Macro
	Physical Cell ID (PCI)	177
	Diversity Support	MIMO
	Category UE	UE category 5
	Cell Type	LTE; LTE-A Pcell. - LTE; LTE-A Scell DL; LTE-A Scell UL
	Max number of intra technology neighbors	32
	Frame configuration	Default 75 RB
	Max PUSCH C/(I+N) (dB)	20
	Max noise Rise (UL) (dB)	6
	Min RSRP (dBm)	-118
	Max PUSCH C/(I+N) (dB)	20

Tabla 12. Parámetros de transmitters y usuarios para las simulaciones. Elaboración Propia

Parámetros		Valor
Transmitters	Transmitters type	Intra- network (server and interferer)
	Antenna	HBX-6516-VTM_2-45_03DT_1920
	Height (m) – Azimuth – Mechanical Downtilt	Valor relativo según el tráfico de usuarios por cada celda
	Feeder	0
	Total losses (transmission) dB	1
	Total losses (reception) dB	-2.16
	Main propagation model	SPM LTE 1,900 Mhz.
	Main calculation radius	4,000
	Main Resolution (m)	5
	Hexagonal radius	350
Usuarios	Número de usuarios / cell	70
	Número de usuario total	8,428
	Movilidad	Peatones, estático, 30Km/h

Capítulo III. Calibración del Modelo de Propagación Estándar (SPM) en Atoll.

3.1 Introducción.

En este capítulo se describirá el proceso de calibración del modelo de propagación estándar (Standard Propagation Model – SPM) para una zona de alto tráfico de la ciudad de Managua tomando en las razones de por qué utilizar el modelo SPM en este trabajo monográfico. Cuenta 15 sitios en un área representativa. La red LTE en Managua se encuentra desplegada en la banda 2 FDD (Duplexación por División de Frecuencia) de operación de 1900 MHz, además se compararán los resultados obtenidos con el modelo de propagación estándar por default y calibrado para LTE en 1900 MHz, en el capítulo 2 se abordó.

El modelo de propagación estándar se calibro para realizar el análisis del desempeño del throughput mediante predicciones en el software Atoll por que un modelo calibrado permite realizar estimaciones más reales del desempeño de la red.

3.2 Características del Modelo de Propagación Estándar.

El modelo de propagación estándar (SPM) considera para calcular la perdida por trayectoria, los siguientes elementos: frecuencia de operación, tipo de área (urbana, suburbana, rural etc.), geografía del terreno (relieve, vegetación, clima etc.) y la altura de la antena del Tx y Rx [4], [42].

El SPM es adecuado para tecnologías tales como: GSM 900/1800 MHz, UMTS, CDMA 2000, WIMAX, WI FI Y LTE, se emplea para predicciones con distancia máxima de hasta 20 km y frecuencia de operación de entre 150-3500 MHz [43], [44]. El SPM se basa en la siguiente formula:

$$P_R = P_{TX} - P_{LOSS} \quad (6) \text{ [49].}$$

Dónde:

$$P_{LOSS} = [K_1 + K_2 * \text{Log}(d) + K_3 * \text{Log}(H_{T_{\text{eff}}}) + K_4 * \text{DiffractionLoss} + K_5 * \text{Log}(d) * \text{Log}(H_{T_{\text{eff}}}) + K_6 * H_{R_{\text{eff}}} + K_7 * \text{Log}(H_{R_{\text{eff}}}) + K_{\text{clutter}} * F(\text{clutter}) + K_{\text{hill,LOS}}]. \quad (7) [49].$$

- **P_R** : potencia recibida (dBm)
- **P_{Tx}** : potencia transmitida (EIRP) (dBm)
- **K_1** : constante de desplazamiento (dB)
- **K_2** : factor múltiplo de $\log(d)$
- **d** : distancia entre el transmisor y el receptor (m)
- **K_3** : factor múltiplo de $\log(H_{T_{\text{eff}}})$
- **$H_{T_{\text{eff}}}$** : altura efectiva de la antena transmisora (m)
- **K_4** : factor múltiplo de la difracción calculada. K_4 debe ser un número positivo.
- **DIFRACCIÓN**: pérdida debido a la difracción de más de una trayectoria obstruida (dB)
- **K_5** : factor múltiplo para $\log(H_{T_{\text{eff}}})\log(d)$
- **K_6** : factor múltiplo de $H_{R_{\text{eff}}}$
- **K_7** : factor de múltiplo de $\log(H_{R_{\text{eff}}})$
- **$H_{R_{\text{eff}}}$** : altura de antena receptora (m)
- **K_{clutter}** : factor múltiplo de $f(\text{clutter})$
- **$F(\text{clutter})$** : promedio de las pérdidas ponderadas en el clutter
- **$K_{\text{hill,LOS}}$** : factor correctivo para zonas montañosas (=0 en caso de NLOS)

Como podemos observar la fórmula del SPM define la variación entre la potencia de transmisión y la potencia de recepción considerando todas las pérdidas como elemento de radiación y geografía del terreno durante el desplazamiento de la onda [47]. El SPM para sus cálculos utiliza la pérdida por difracción donde analiza punto a punto la trayectoria entre en Tx y el Rx identificando las pérdidas causadas por los obstáculos principales, el valor que pueden tomar sus constantes se describen a continuación en la tabla 13 [47].

Los elementos considerados por el modelo SPM para la propagación son:

- Frecuencia de operación.
- Distancia entre en Tx y el Rx.

- Tipo de área (Urbana, Suburbana, Rural).
- Geografía del terreno (Relieve, Vegetación, Clima).
- Altura efectiva de la antena Tx y Rx.

Tabla 13. Rangos de los valores de K [48].

Constantes	Mínimo	Máximo
K1	0	100
K2	20	70
K3	-20	20
K4	0	1
K5	-10	0
K7	-10	0

3.3 Algoritmo de calibración del SPM con el módulo CW Measurement de ATOLL.

ATOLL contempla el módulo CW (Continuous Wave) Measurement que consiste en permitir al usuario importar valores de medición recolectadas mediante un (DT) por un único transmisor a una frecuencia dada de onda continua (CW) y utilizarlos para calibrar el SPM de forma automática.

El algoritmo que emplea el módulo CW Measurement se basa en la resolución de un problema de mínimos cuadrados calculando en término de la media cuadrática como lo expresa la ecuación 8 [48].

$$RMS = \sqrt{\delta^2 + M^2} \quad (8) [48].$$

RMS= Media Cuadrática (dB).

M= Mediciones CW (dBm).

δ = Desviación estándar en (dB).

ATOLL calcula el Error realizando una resta en cada uno de los puntos de intersecciones de los niveles de señal de las muestras del DT y los niveles de señal generado por la predicción como lo describe la ecuación 9. El Mean Error Global y la desviación estándar Global se calculan para comprobar si la calibración ha cumplido con los objetivos de calidad de calibración que consiste en obtener un Mean Error global (ver ecuación 8) menor a 1 dB y una desviación estándar global menor a 8 dB según Forks [49].

Atoll al ser un software licenciado y patentado de la empresa Forks no revela el proceso de calibración de forma detallada ingenierilmente hablando, gracias a la manipulación de dicha herramienta se dedujo que ATOLL realiza el proceso de calibración automática de la siguiente manera:

Al contar con dos conjuntos de datos, uno el conjunto de datos del drive test y el otro el conjunto de las predicciones de nivel de señal, Atoll calcula muestra a muestra el error y genera una nueva columna de datos con la diferencia existente en ambos conjuntos y extrae el mean error de todas las muestras calculadas, posteriormente al conocer la ubicación exacta del Tx y Rx comienza a calcular la distancia entre ambos bajo la siguiente condición, Si la distancia Tx-Rx es mayor que la distancia máxima que es igual a cero, el receptor se considera lejos del transmisor y asigna valores en el rango aceptable para las constantes K1 y K2 NLOS y si la distancia Tx-Rx es menor que la distancia máxima definida por el usuario se considera cerca del Tx y asigna valores para las constantes K1 y K2 LOS, luego calcula la altura efectiva de la antena transmisora en relación con una altura promedio del suelo calculado a lo largo del perfil entre el transmisor y el receptor donde la distancia mínima es cero y la distancia máxima es 15000 metros, posteriormente calcula la altura efectiva del receptor que se basa en la extracción Perfiles DTM y por ultimo las pérdidas del terreno calculando la desviación de altura entre el perfil de terreno original y línea de regresión, luego, ordena los valores y dibuja dos líneas (paralelas a la línea de regresión), uno que se excede en un 10% de los puntos del perfil y el otro en un 90% y realiza un cálculo triangular, finalmente que se han considerados todos los elementos de propagación Atoll busca los valores más adecuado para cada constante K y obtener el valor mínimo del ROOT MEAN SQUARE como se muestra en la ecuación 8.

$$\text{Error} = (P-M) \quad (9) \text{ [48].}$$

M= Mediciones CW(dBm).

P= Niveles de señal de la predicción (dBm).

E= Error (dBm).

Ejemplo: Calculo del Error para este punto tomado. Ver Fig. 23.

Error = (P-M)

M= -74.3 dBm.

P= -75.26 dBm. **E =** -75.26+74.3= -0.96 dBm.

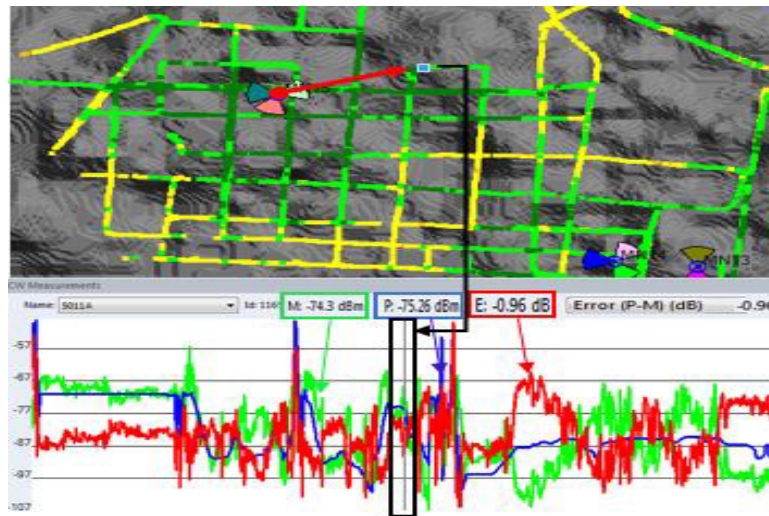


Figura 21. Cálculo de Error. Elaboración Propia.

3.4 Procedimientos de calibración del modelo SPM.

Ubicación de Sitios.

La ubicación de los sitios se realizó en criterio de la existencia real de una red LTE de un operador de telefonía móvil en Managua, para ello se seleccionó un cluster de 15 sitios como lo muestra la figura 20 ubicado en un área representativa de alto tráfico de voz y datos de la ciudad de Managua.

Drive Test.

El drive test es el proceso de recolección de información en campo de los datos de señalización y geo-referencia revelando los parámetros de cobertura, capacidad y calidad de servicio de la red mediante software especializados y dispositivos terminales.

Los dispositivos usados están en dependencia del tipo de medición que se realice, los drives test brindan la información necesaria para el planeamiento de la radio cobertura en los sistemas de comunicación móvil [50]. La forma más fácil de ejecutar a menudo drive test en LTE / LTE-A lo suficientemente detallado es utilizando un teléfono LTE que esté equipado con las capacidades para medir parámetros como los niveles de potencia recibidos; la calidad de la señal y otros valores de parámetros transferido entre el UE y el eNodeB [17].

El DT es útil por los operadores de telefonía celular por que mediante el DT se conoce el funcionamiento en cuanto a capacidad y calidad de servicio de la red. Con el Drive Test , es posible realizar planificación de RF, verificación de azimut , resolución de problemas como identificación de sectores cruzados o rotados, análisis de interferencias, evaluación comparativa, Initiality Tunning Service (ITR), benchmarking, rehomíng, SWAP, prueba de rendimiento de la red tanto en interiores como en exteriores y para la optimización de redes inalámbricas y servicios de datos permitiendo lograr así requisitos existentes de la calidad de servicio en la telefonía móvil.

En el DT podemos evaluar la tecnología móvil de nuestro interés siempre y cuando el software que utilicemos cumpla con los requerimientos para la tecnología a evaluar, las tecnologías pueden ser 2G,3G, LTE. Las mediciones que podemos realizar hasta estos momentos en Nicaragua para la tecnología LTE, la cual es la tecnología que evaluamos en el DT son: Throughput DL, Throughput UL, Ping, Idle, Reselección y CSFB.

3.5 Diseño de ruta para el Drive Test.

Para la evaluación de la red LTE desplegada en Managua se realizó un Drive Test (DT) el cual se describe en la siguiente sección, para dicho DT el cual evaluará una red de 15 sitios creamos una ruta en punto TAB la cual nos permitirá guiar el DT solo al área de nuestro interés.

La ruta primeramente fue creada en Google Earth como se muestra en la figura 24, una vez que el programa ha sido abierto procedemos a dibujar nuestra ruta posteriormente la guardamos en formato KML, una vez que tenemos ya guardada nuestra ruta en punto KML procedemos a convertirla en punto TAB con el software Global

Mapper, posterior seleccionamos KML que es la extensión original de la ruta de Google Earth y luego seleccionamos el formato al que lo queremos para este caso seleccionamos mapinfo TAB/MAP y así lo convertimos a punto TAB ya que las rutas que permite importar TEMS INVESTIGACION son de extensión punto TAB.

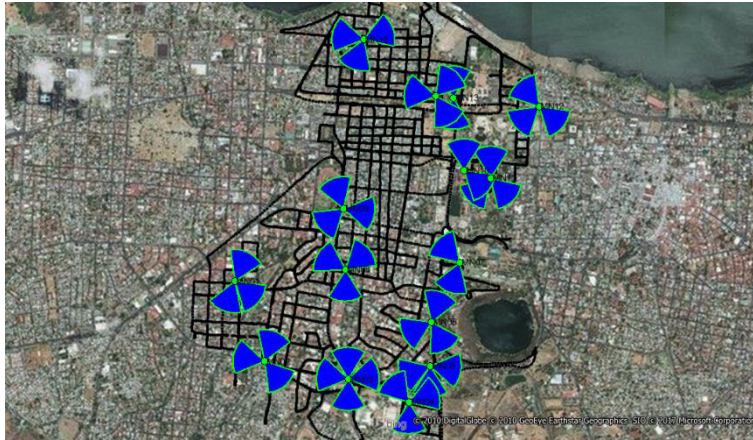


Figura 22. Implementación de Ruta para drive test en la ciudad de Managua. Elaboración Propia.

Hardware y Software para el Drive Test.

Terminales Móviles.

Los tipos de teléfonos celulares que se utilizan para la realización de Drive Test en LTE son celulares gama alta con procesador Qualcomm, porque a diferencia de los otras categorías como gama baja y gama media poseen buenos recursos de hardware tales como procesador y la frecuencia en GHz, memoria RAM de alta capacidad, batería de alta durabilidad y de buenos recursos de software como sistema operativo actuales además tienen la capacidad de conectarse con las bandas de operación de las tecnologías actuales como LTE [51].

Para la realización de Drive test en LTE se recomienda utilizar celulares categorías 5 o categorías superiores con procesador Qualcomm. Para la realización de nuestro Drive Test en LTE utilizamos el modelo de celular Samsung Galaxy S5 categoría 5 que se muestra en la figura 25.

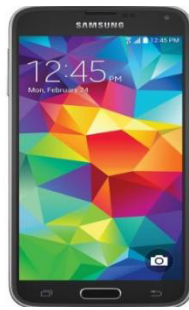


Figura 23. Samsung Galaxy S5. Elaboración Propia.

Categorías de teléfonos celulares existentes se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Categorías de EU para LTE/LTE-A [17].

Category	DL data rate, max (Mb/s)	UL, data rate, max (Mb/s)
1	10	5
2	50	25
3	100	50
4	150	50
5	300	50
6	300	75
7	300	150
8	1200	600

Computadora Laptop.

Para la realización de un Drive test LTE con Tems Investigations se requiere de una computadora laptop con sistema operativo Windows 7 professional de 64 bits, con procesador Core I7 y como mínimo 8GB de memoria RAM ya que las mediciones que normalmente se hacen en esta tecnología son mediciones de Throughput de DL y UL y por lo general los logs file generado son de mayor peso que las mediciones en otra tecnología. En nuestro caso utilizamos una laptop DELL con procesador Core I7 y memoria RAM de 16GB.

Tems Investigations.

Se utilizó Tems Investigations para el drive test porque diferencia de otros software de DT es eficiente y confiable, Tems investigations a diferencias de otros software tiene mayores ventajas tales como: el tamaño de los logfile generado en las mediciones son de menor peso que los logfile generado por otras herramientas de DT lo que hace más rápido el trabajo de importación de logs en el post-proceso, Tems permite realizar mediciones con mayor número de celulares, permitiendo hasta 11 dispositivos ya que otros solo funcionan con 6 dispositivos, permite la configuración automática del tamaño del logs que el RF desee, permite exportar DT de grandes rutas en formato TAB con los distintos parámetros de análisis de post-proceso para ser analizados en herramientas de post-proceso como MAPINFO, permite la realización de Composite o Marge que es la unificación de distintos logs en una sola ruta y exportarla en punto TAB para rutas de DT, sus logs pueden ser post-procesado en las mejores herramientas de análisis de post-proceso como lo son Actiz Analyzers y Tems Discovery, permite introducir métricas al igual que el post-proceso para el análisis de las mediciones en campo.. Soporta tecnologías como GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA, HSPA + y GAN (UMA), CDMA, WiMAX, LTE y LTE-A [46].

Además porque TEMS Investigations puede usarse para procesar y analizar los archivos de las mediciones realizadas ya que contiene Más de 1.000 elementos de información (IE) y 150 eventos que pueden ser presentado en más de 100 ventanas de presentación predefinidas, Soporte para más de 130 dispositivos de Sony Ericsson, Ericsson, Samsung, Motorola, Nokia, Qualcomm TM y proveedores basados en el chipset Qualcomms y se pueden realizar Pruebas de servicio incluyendo voz, video telefonía, FTP, HTTP, Ping, correo electrónico, WAP, MMS, SMS y streaming de video, compatibilidad con Windows vista, Windows 7 de 64 bits [52].

GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

Se requiere de un GPS con conexión USB ya que dicho dispositivo nos proporciona un registro de ubicación en campo y además nos proporciona la geolocalización de los distintos datos recopilados en el drive test. Recomendamos utilizar el GPS que nosotros utilizamos modelo BU-353S4 como se muestra en la figura 26 ya que es de muy buena calidad resistente a las lluvias y al sol.



Figura 24. GPS modelo BU-353S4. Elaboración Propia.

3.6 Descripción del Drive Test.

Para la realización del drive test fue necesario un vehículo, un inversor el cual se conecta de la batería del carro para mantener con carga la laptop, luego encendemos la laptop y ejecutamos el software Tems Investigations, a la PC conectamos un hub, al hub se conecta el GPS y los terminales móviles, luego cargamos una cellfile en extensión XML que es un archivo que contiene valores de parámetros lógicos y físicos de la red a evaluar como se muestra en la tabla 15, además cargamos un mapa del área de medición en punto TAB y Ruta en punto TAB la cual diseñamos para evaluar únicamente la red de 15 sitios que se encuentra en un área de alto tráfico de la ciudad de Managua, durante el DT recolectamos 30000 mil muestras como lo muestra la figura 27 las cuales fueron utilizadas para la calibración del modelo de propagación estándar en ATOLL, los Logs file que genera dicha herramienta de DT son extensión punto trp y pueden ser post-procesado con TEMS DISCOVERY o con ACTIZ ANALIZER. El drive test se puede llegar a cabo en horarios de mucho tráfico (8 am, 12 pm y 6 pm) o cuando los usuarios no están accediendo a la red como por ejemplo 2 am. Cabe señalar que normalmente para tener una información más precisa del planeamiento de cobertura es importante hacer

Tabla 15. Campos típicos de una Celfile.

cellname	systeem_typ	earfcn_ dl	pci	latitud	longitud	Azimut	beam_ width
L414005_F2_S1	LTE	825	234	12.1489	-86.3072	30	60
L414005_F2_S2	LTE	825	235		-86.3072	150	60

Para el post-proceso se requiere de una herramienta de análisis como Actiz Analyzer, Netimazer DMA, Prove Agilent, Teme Discovery entre otras. Para realizar el análisis de los logfiles de extensión trp generados por la herramienta de DT TEMS INVESTIGATIONS utilizamos el software TEMS DISCOVERY, el post-proceso nos proporciona visualmente el comportamiento y estado de la red con resultados porcentuales de los distintos parámetros de RF que se evalúan en la red. En este caso nosotros solo post-procesamos los niveles de RSRP como se puede ver en la figura 28, los cuales serán transformados a la extensión TXT para la calibración del modelo de propagación estándar de ATOLL.

Para hacer un post-proceso LTE con la herramienta Teme Discovery se necesitan los siguientes requerimientos:

1. Poseer Logs en extensión grp realizado con la herramienta de DT Teme Investigation.
2. Computadora con sistema operativo de 64 Bits con Windows 7 profesional, con recursos mínimos de procesador core i5 y 8 GB de memoria RAM.
3. Poseer el software Teme Discovery.
4. Tener conocimientos de post-procesamiento y de la herramienta Teme Discovery.

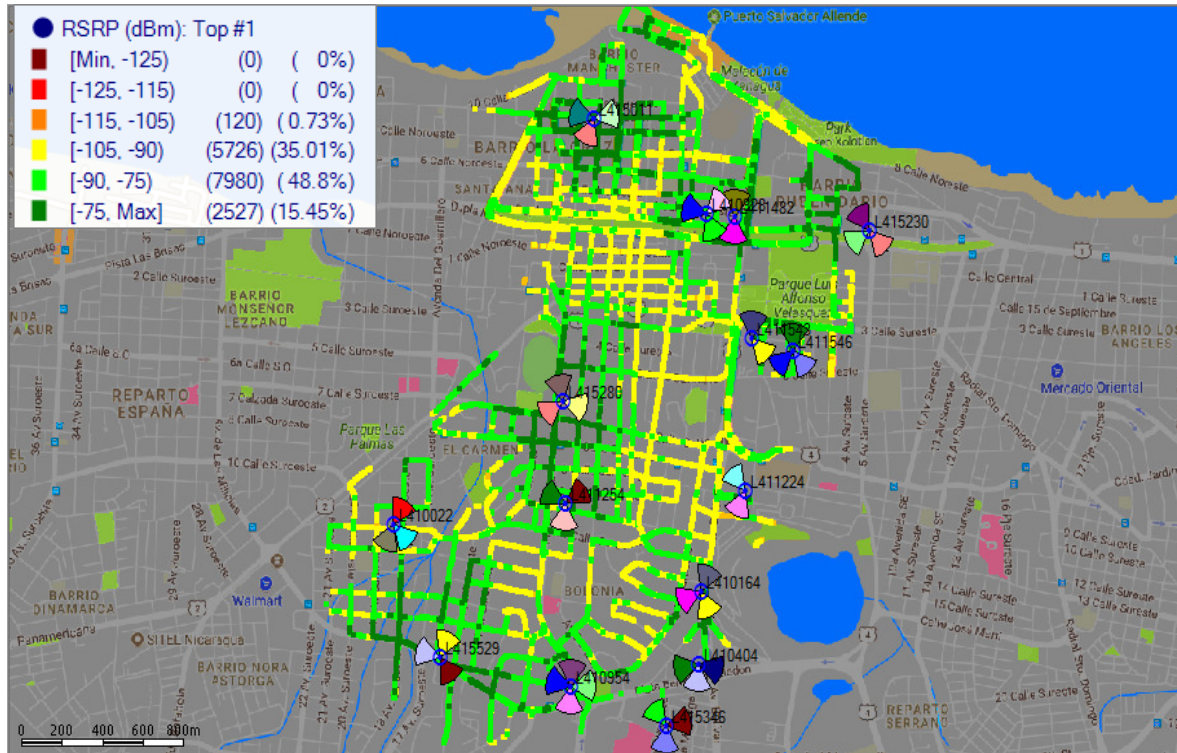


Figura 26. Post-proceso del Drive Test de la ciudad de Managua. Elaboración Propia.

Filtrado de Datos.

Para la calibración de SPM se requieren mediciones de campo, luego se transforman los valores recolectados de la medición tales como Latitud, longitud, PCI y niveles de RSRP con TEMS DISCOVERY al formato TXT para ser importados en el módulo CW Measurement de ATOLL ver figura 29. Para la calibración del modelo de propagación estándar se diseñó la red LTE en ATOLL con parámetros iniciales.

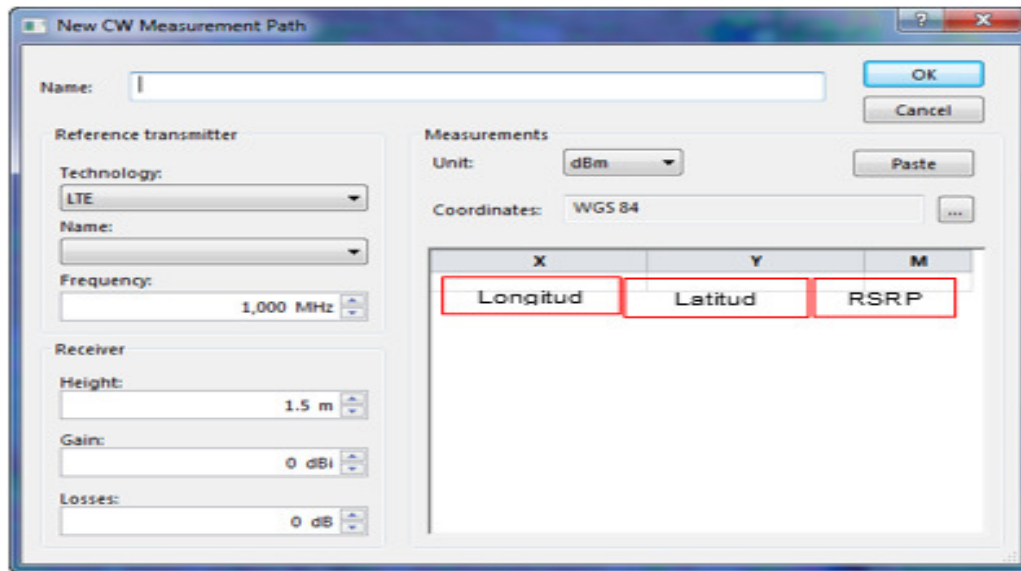


Figura 27. Filtrado de mediciones. Elaboración Propia.

Una vez importado los niveles de la señal recolectados en el Drive test en la ventana CW Measurements se crean carpeta que contiene las mediciones que asociamos a cada transmisor como lo muestra la figura 30, además aparecen los niveles de señal de las mediciones introducidas en la ventana de trabajo de ATOLL.

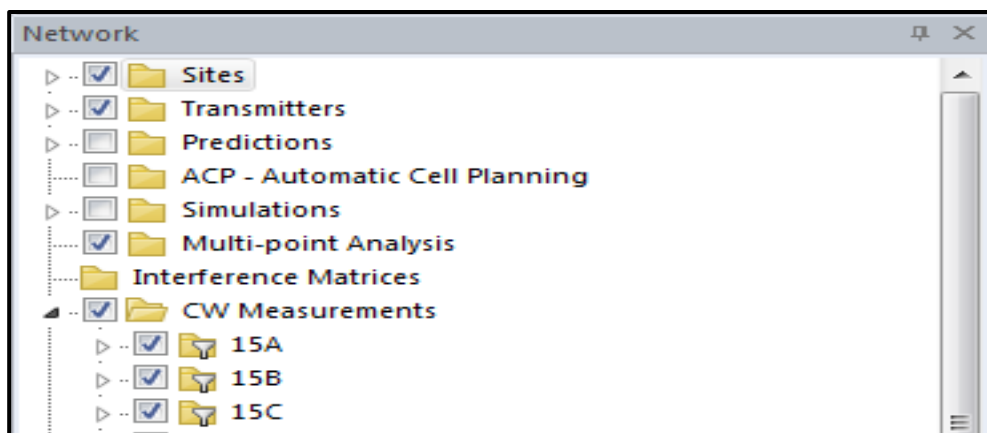


Figura 28. Creación de mediciones. Elaboración Propia.

Calibración del Modelo SPM.

Después que ya hemos importado los valores de la medición procedemos a seleccionar las mediciones con que queremos calibrar el modelo como lo muestra la figura 31, luego seleccionamos las constantes K que decíamos calibrar para este caso las seleccionamos todas desde K1 hasta K7 como lo muestra la figura 32 y luego Atoll ya comienza a realizar la calibración automática haciendo una relación entre los niveles de la señal de la predicción con los niveles de la señal de DT y calcula el error medio como lo muestra la figura 33, luego solo seleccionamos el modelo de propagación estándar y le damos calibrar y automáticamente Atoll realiza la calibración.

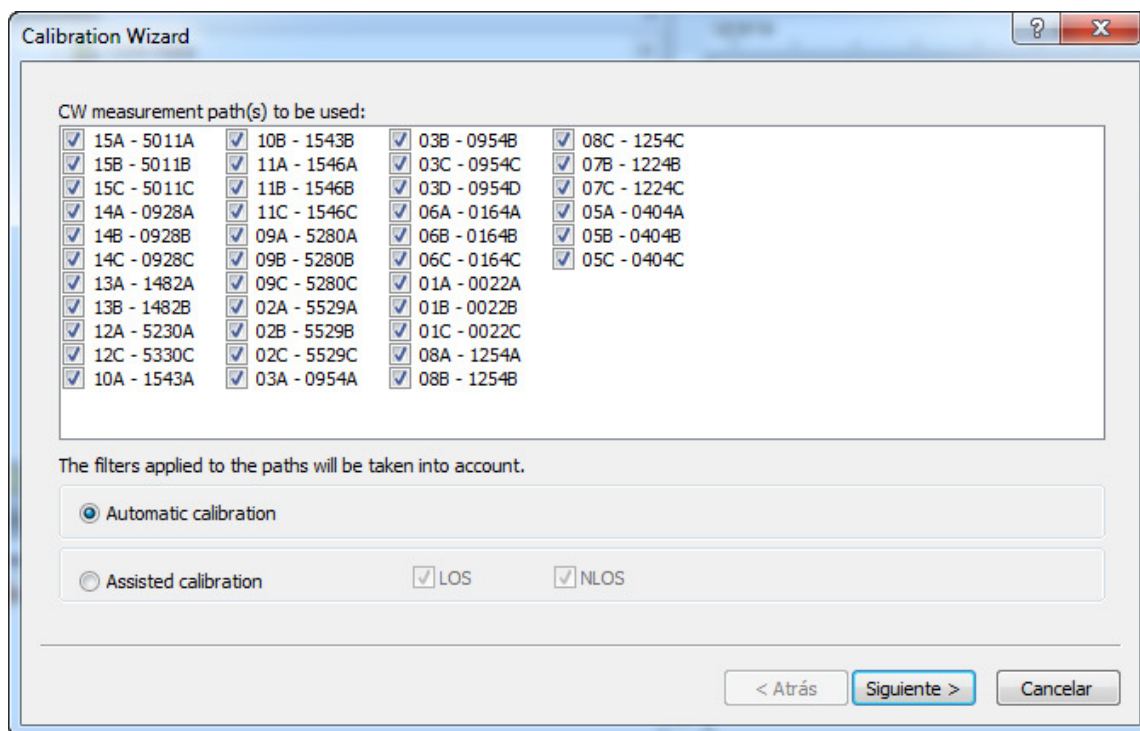


Figura 29. Selección de mediciones a utilizar para la calibración. Elaboración Propia.

Calibration Wizard

Select the parameters that you want to calibrate:

Parameter	Description	Value	Range
<input checked="" type="checkbox"/> HTx method		Height above the ground	
<input checked="" type="checkbox"/> Diff. method		Deygout	
<input checked="" type="checkbox"/> K1		44.5 - 67.8	[0 .. 100]
<input checked="" type="checkbox"/> K2	log(D)	31.4 - 23.1	[20 .. 70]
<input checked="" type="checkbox"/> K3	log(HTx)	16.6	[-20 .. 20]
<input checked="" type="checkbox"/> K4	Diffraction	0	[0 .. 1]
<input checked="" type="checkbox"/> K5	log(D)*log(HTx)	0	[-10 .. 0]
<input checked="" type="checkbox"/> K6	HRx	0	[-1 .. 0]
<input checked="" type="checkbox"/> K7	log(HRx)	0	[-10 .. 0]
<input checked="" type="checkbox"/> Clutter Losses			[-20 .. 20]

Define range...

< Atrás Siguiente > Cancelar

Figura 30. Selección de constantes a calibrar. Elaboración Propia.

Calibration Wizard

Results:

Parameter	Description	Before	After
28-denseblockbuild	Clutter Losses	0	0
29-rural	Clutter Losses	0	0
30-residhigh	Clutter Losses	0	0
31-dbbhigh	Clutter Losses	0	0
32-bbhigh	Clutter Losses	0	0
33-denseurbanlow	Clutter Losses	0	0
34-semiopenarea	Clutter Losses	0	0
35-openwetarea	Clutter Losses	0	0
36-forestsparse	Clutter Losses	0	0

Statistics:

	Before	After
Mean error	-37.033	-0.005
Standard deviation	31.474	7.426

Commit Cancelar

Figura 31. Calibración automática del SPM. Elaboración Propia.

3.8 Comparación del SPM por default y el SPM calibrado.

Primeramente, se realizó la calibración por sitios como se puede apreciar en la figura 34 y 35 mediante el módulo de CW Measurement contemplado en la herramienta ATOLL y posteriormente la calibración global de los 15 sitios como se puede ver en la tabla 13 logrando obtener un error medio global menor a 1 dB que fue de -0.005 dB y una desviación estándar menor a 8 dB la cual fue de 7.42 dB. Una vez que el modelo se ajustó los niveles de la señal de referencia proporcionados en la predicción son muy similares a los niveles de la señal recolectados en el DT.

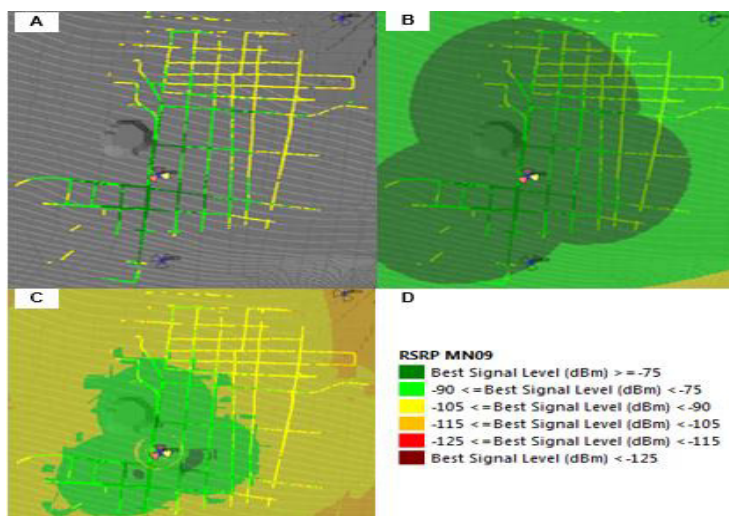


Figura 32. Predicción de nivel de señal (RSRP): (A) Niveles de señal del sitio MN09, (B) Predicción con el SPM por default, (C) Predicción con el SPM calibrado, (D) leyendas utilizadas

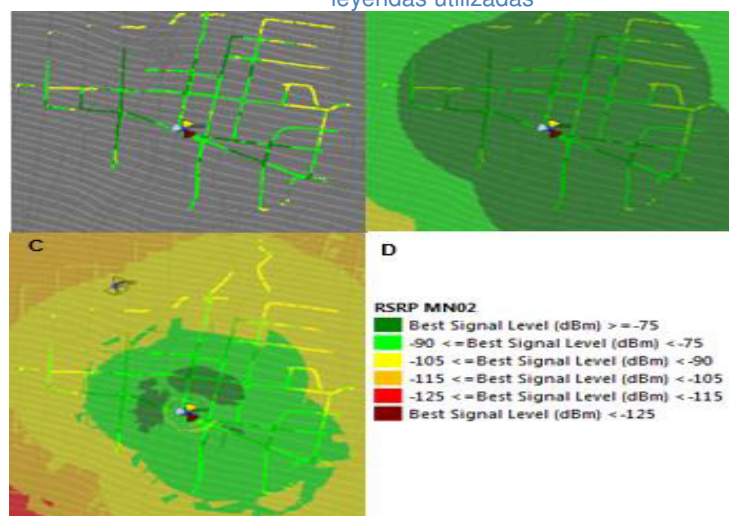


Figura 33. Predicción de nivel de señal (RSRP): (A) Niveles de señal del sitio MN02, (B) Predicción con el SPM por default, (C) Predicción con el SPM calibrado, (D) leyendas utilizadas.

Una vez que el modelo de Propagación ha sido calibrado el Mean Error Global debe ser menor a 1 dB y la Desviación Estándar Global debe ser menor a 8 dB como lo muestra la tabla 16 [46].

Tabla 16. Comparación antes y después de la calibración para el Mean Error Global y la desviación estándar global. Elaboración Propia

	Antes	Después
Mean Error Global	-37.033	-0.005
Desviación Estándar Global	31.474	7.42

Una vez que el SPM ha sido calibrado cambian los valores de la constante K ver tabla 17.

Tabla 17. Comparación de los valores de “K” con el SPM por default y con el SPM calibrado.

Urbano	Valores de k con SPM por default.	Valores de k con SPM calibrado.
K1-Los	17.4	44.5
K2-Los	44.9	31.45
K1-Nlos	17.4	67.75
K2-Nlos	44.9	23.13
K3	5.83	16.61
K4	1	0
K5	-6.55	0
K6	0	0
K7	0	0
Kclutter	0	1

COMPARACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DEL CLUTTER CON EL SPM POR DEFAULT Y CON EL SPM CALIBRADO.

Como podemos ver en la tabla 18 donde después de la calibración ya existe una pérdida calculada la cual hace que al utilizar el modelo calibrado en las predicciones sean muy aproximadas a la realidad pues ya han sido calculadas las pérdidas de propagación del entorno donde trabajaremos. Cuando se realiza la calibración del SPM son calculadas las pérdidas del clutter.

Tabla 18. Comparación de las pérdidas del clutter con el SPM por default y con el SPM calibrado.

Perdidas del clutter con SPM por default.		Perdidas del clutter con SPM calibrado.	
	Losses (dB)		Losses (dB)
0 - unclassified	0	0 - unclassified	0
1 - open	0	1 - open	-18.01
2 - sea	0	2 - sea	0
3 - inlandwater	0	3 - inlandwater	0
4 - residential	0	4 - residential	-16.02
5 - meanurban	0	5 - meanurban	0
6 - denseurban	0	6 - denseurban	0
7 - buildings	0	7 - buildings	0
8 - village	0	8 - village	0
9 - industrial	0	9 - industrial	0
10 - openinurban	0	10 - openinurban	-18.4
11 - forest	0	11 - forest	0
12 - parks	0	12 - parks	-20
26 - denseurbanhigh	0	26 - denseurbanhigh	0
27 - blockbuildings	0	27 - blockbuildings	-16.48
28 - denseblockbuild	0	28 - denseblockbuild	0
29 - rural	0	29 - rural	0
30 - residhigh	0	30 - residhigh	-20
31 - dbbhigh	0	31 - dbbhigh	0
32 - bbhigh	0	32 - bbhigh	0
33 - denseurbanlow	0	33 - denseurbanlow	0
34 - semiopenarea	0	34 - semiopenarea	0
35 - openwetarea	0	35 - openwetarea	0
36 - forestsparse	0	36 - forestsparse	0

La calibración global de los 15 sitios se hizo con 30,000 muestras recolectadas en el DT, se le aplico un computation zone como podemos observar en la fig.36 que es un filtro que nos permite recortar el área de predicción esto para proporcionar resultados únicamente en el área de interés e igualar el área de predicción al área donde se realizó el drive test y poder comparar los resultados de la predicción con el post-proceso debido a que ATOLL no proporciona resultados de predicción únicamente en el área del DT.

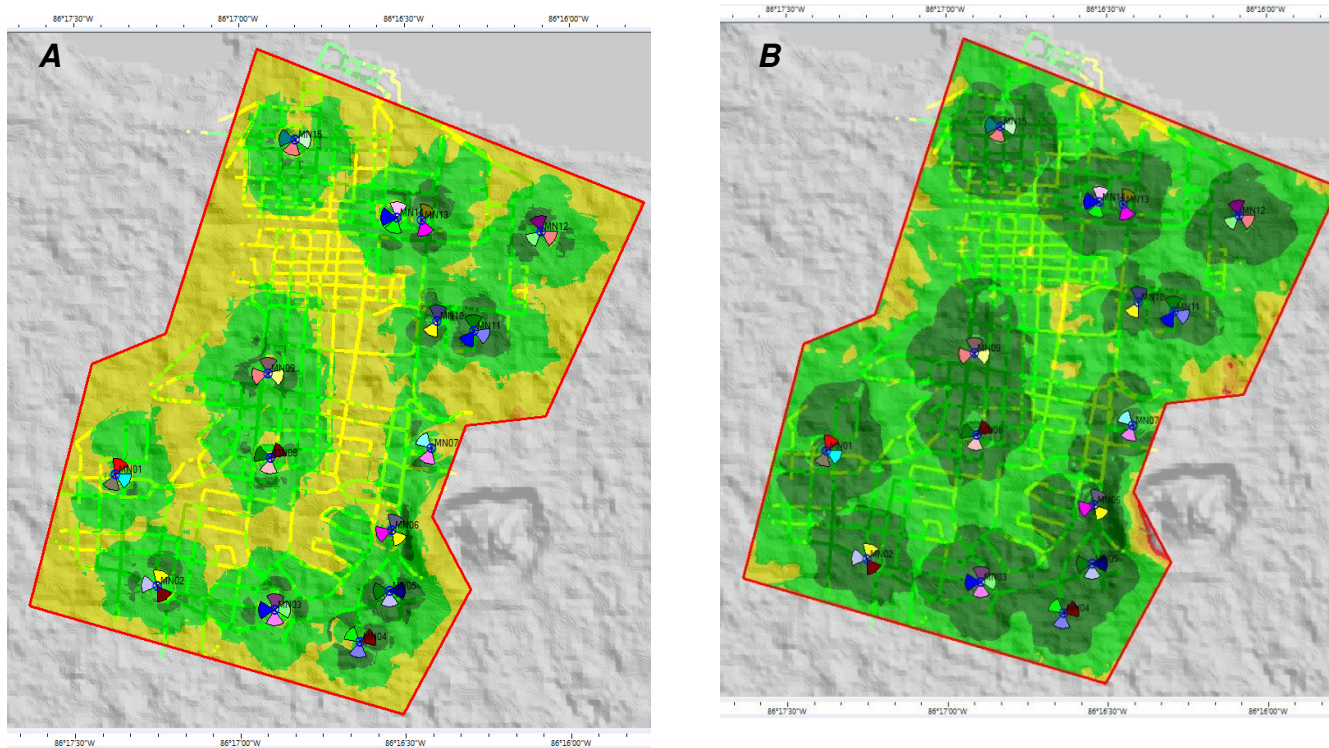


Figura 34. Predicciones por Nivel de señal global: (A) con el SPM no calibrado, (B) con el SPM calibrado.

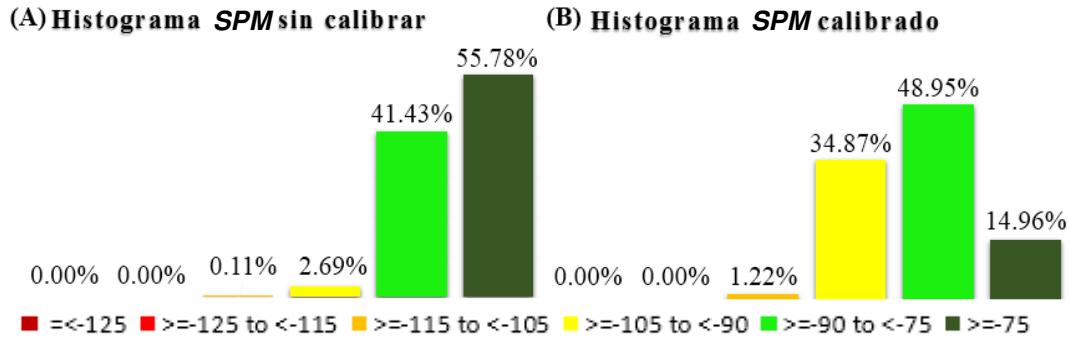


Figura 35. Histograma del Nivel de RSRP global. (A) Con el SPM no calibrado, (B) SPM calibrado

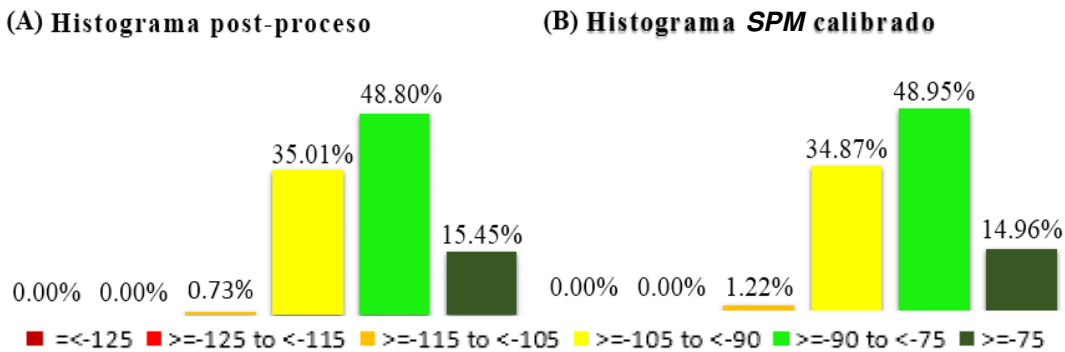


Figura 36. Histograma del nivel de RSRP global: (A) Post-Proceso, (B) SPM calibrado.

El histograma A de la figura 37 nos permiten visualizar fácilmente que al realizar predicciones con el modelo SPM no calibrado los resultados son muy diferente a los niveles de la realidad obtenidos en el drive test, ya que con el modelo SPM no calibrado el porcentaje de nivel de señal ≥ -75 dBm es de 55.78% del área de cobertura de la red de 15 sitios, mientras que con el modelo SPM calibrado como lo muestra El histograma B de la figura 38 y la tabla 19 el porcentaje de nivel de señal ≥ -75 dBm es de 14.96 % lo que se aproxima muchísimo a los resultados del DT para ese mismo nivel de señal que es de 15.45% y de igual manera para los distintos niveles de señal. Como podemos observar en los histogramas de la figura 38 una vez que el modelo de propagación estándar ha sido calibrado los porcentajes del nivel de la señal del DT y los niveles de la señal de la predicción son similares.

Tabla 19. Comparación de resultados SPM no calibrado, SPM calibrado y post-proceso.

	Rangos	SPM No Calibrado	SPM Calibrado	Post-Proceso
	≤ -75	55.776%	14.959%	15.45%
	-75 a -90	41.426%	48.946%	48.8%
	-90 a 105	2.692%	34.874%	35.01%
	-105 a -115	0.105%	1.221%	0.73%
	-115 a -125	0%	0%	0%
	≤ -125	0%	0%	0%

El modelo de propagación estándar calibrado fue utilizado para las distintas predicciones realizadas luego de la optimización con las que se analizará el rendimiento del throughput con las distintas estrategias del packet scheduling para LTE-A en la banda de frecuencia 2 FDD con el software de planificación y optimización ATOLL de Forks la cual nos las describe el capítulo IV.

Capítulo IV. Comparación del desempeño de los Packet Scheduling en LTE-A.

4.1 Introducción.

En este capítulo se realizará una comparación de la eficiencia de varios Packet scheduling como: Proportional fair, Proportional Demand, Round Robin y Maximum C/I. El indicador de desempeño para realizar la comparación entre los planificadores es el throughput. El estudio de comparación de los Packet Scheduling se realizó a través de dos etapas:

- Etapa 1: Optimización de la red LTE-A en la banda de frecuencia 2 FDD con el modelo SPM calibrado.
- Etapa 2: Predicciones de throughput en DL y UL con cada una de las estrategias del packet scheduling Round Robin, Proportional Fair, Proportional Demand y Máximo C/I

4.2 Optimización de la red LTE-A.

La optimización de la red LTE-A en ATOLL se basó en ajustes de parámetros lógicos y físicos, mediante estos ajustes la red opera con mayor alcance y calidad de servicio.

Para realizar las predicciones y simulaciones se define el área de cálculo mediante *Computation Zone*, esta opción permite realizar el análisis solo en la zona de interés y permite reducir el tiempo de cálculo. La figura 39 muestra la distribución de las estaciones base dentro del polígono correspondiente al área de estudio.

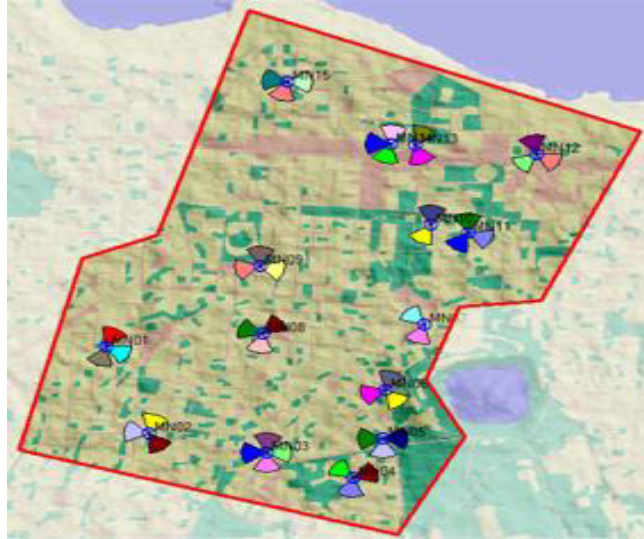


Figura 37. Computation Zone de la red LTE-A. Elaboración Propia.

Para la optimización de la red LTE-A se realizaron los dos tipos de predicciones existentes que permiten analizar los niveles de la señal y la calidad de la señal. Cabe mencionar que todas las predicciones fueron realizadas con el modelo de propagación estándar que fue calibrado anteriormente en el capítulo III.

4.3 Predicciones de Nivel de Señal.

Para verificar la cobertura en la zona de análisis realizamos tres tipos de predicciones con las siguientes características mostradas en la tabla 20.

Tabla 20. Parámetros de Nivel de cobertura. Elaboración propia

Tipo de Predicción	Servidor	Shadowing	Nivel de Señal
Niveles de señal	ALL		
Zona de solapamiento			
Por Transmisor	Best Signal	95%	≥ -125 dBm

Coverage by Signal Level: Permite predecir las zonas de cobertura según los niveles de señal del transmisor en cada píxel del mapa [53].

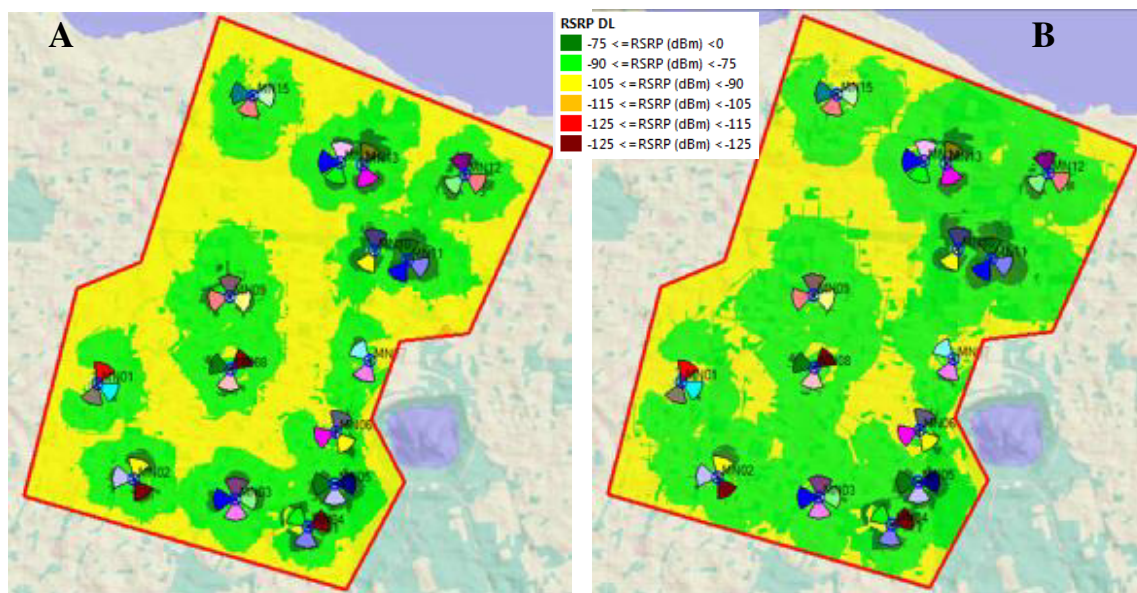


Figura 38. Predicción Coverage by Signal Level; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

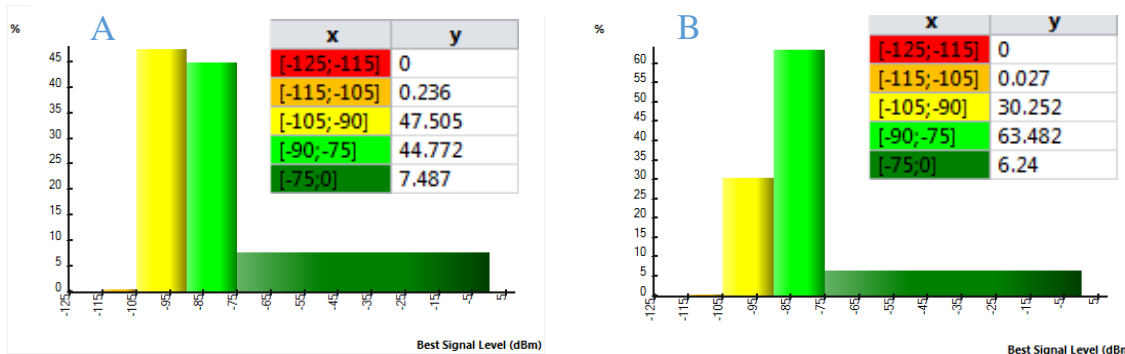


Figura 39. Histograma de predicción Coverage by Signal Level: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

Después de la optimización en la predicción de cobertura por nivel de señal como se muestra en la figura 41(B) los niveles de señal entre [-75; -90] dBm incrementaron en un 18% en comparación con los obtenidos en la predicción antes de la optimización y los niveles entre [-90;-105] se redujeron en un 17% como lo muestra la figura 41(A) esto permitirá tener mayor área de cobertura con mejores niveles de señal.

Prediction Overlapping Zones:

Permite calcular las áreas donde existe cobertura de dos o más transmisores [53].

Las predicciones de solapamiento deben cumplir con las siguientes condiciones:

- % del área con 4 o más servidores debe ser < 2%
- % del área con 2 o más servidores debe ser < 30%

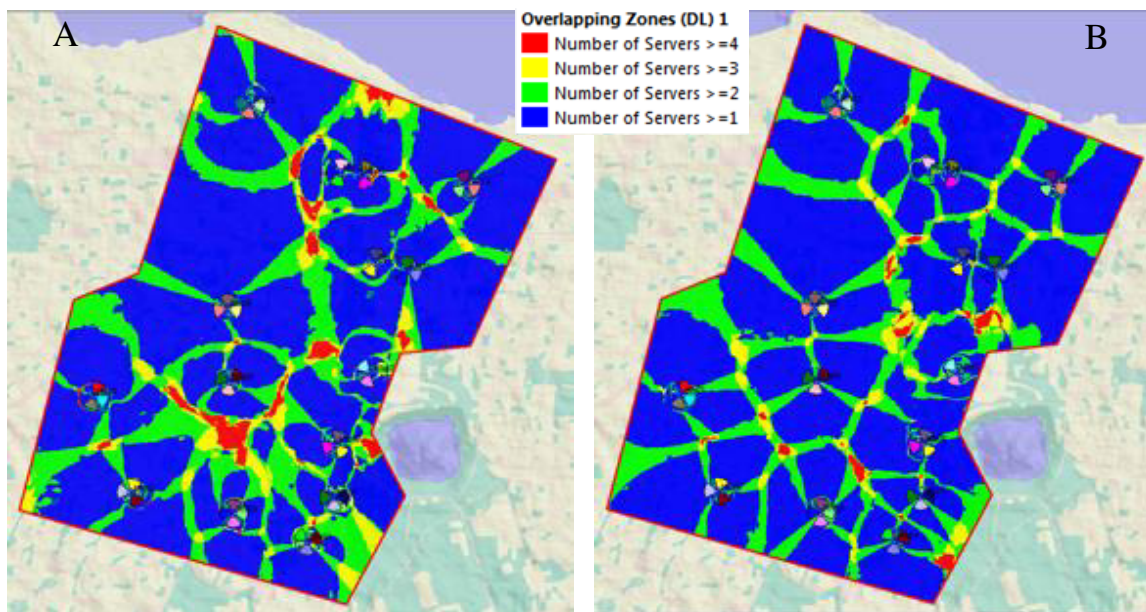


Figura 40. Overlapping Zone: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización

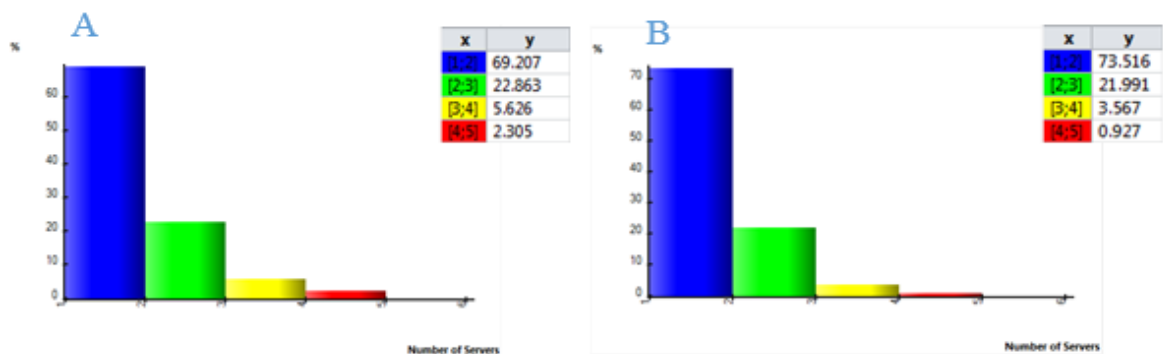


Figura 41. Histograma de predicción Overlapping Zones (DL); (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

Las interferencias causadas por la presencia de dos o más transmisores en una zona dada pueden afectar significativamente el desempeño de una red como lo muestra la figura 42. La figura 43(B) muestra que después de la optimización se cumple con la regla de que la zona con más de 4 transmisores debe de ser menor al 2% con un 0.927% ya que antes de la optimización en el histograma de la figura 43(A) no cumplía ya que era del 2.305% y el área de cobertura con 1 y 2 transmisores aumento de 69.207 a 73.516%.

Coverage by Transmitter (DL): Permite predecir las zonas de cobertura por transmisor analizando para cada píxel del mapa el mejor transmisor [53].

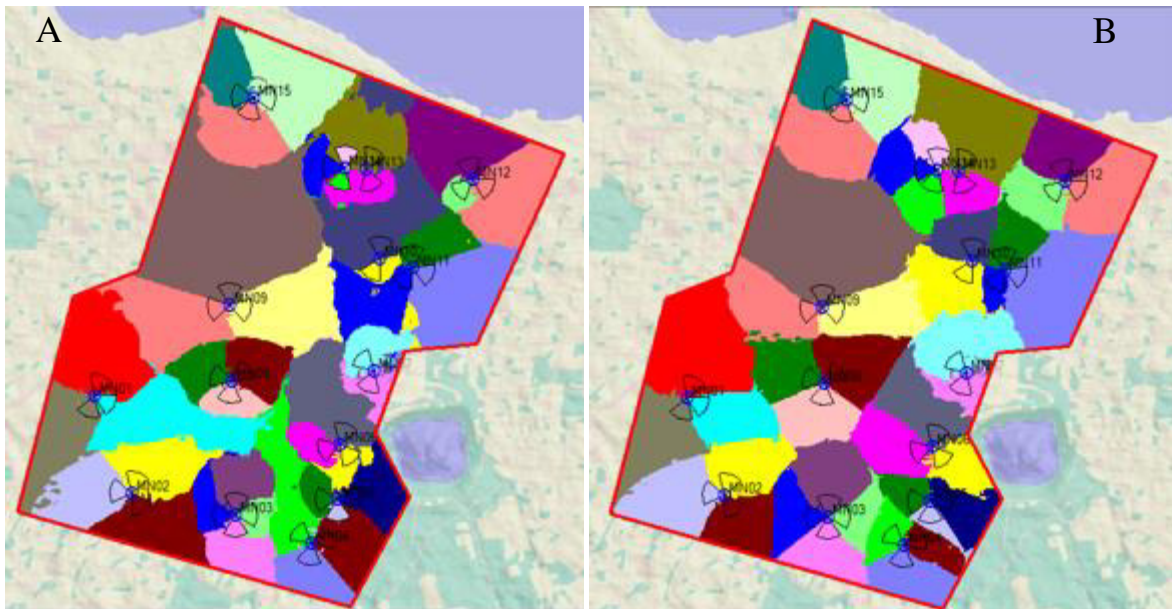


Figura 42. Predicción por Transmisor (DL): (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

En las predicciones por transmisores verificamos si el área de cobertura es la correspondiente a cada sector. Como podemos observar en la figura 44(B) después de la optimización se eliminó la sobre propagación y el overshooter que existía antes de la optimización como podemos observar en la figura 44(A) logrando así el correcto funcionamiento de cada sitio.

4.4 Predicciones de Calidad de la señal.

Para las predicciones de calidad es necesario establecer una carga de tráfico, los valores elegidos permiten a todos los usuarios tener servicio y acceso a la red. Cabe recalcar que mientras mayor sea la demanda menor son los usuarios que acceden a la red.

Mapas de tráfico.

Para la realización de predicciones por calidad de la señal creamos un *Environments* densamente urbano con las características de usuario y movilidad del área de Managua como lo muestra la tabla 21 y 22 la cantidad de suscriptores fue dimensionada en base a

la capacidad de una red LTE real contemplados en los requerimientos de la 3GPP y posteriormente creamos un mapa de tráfico en el área donde desplegamos nuestra red LTE-A como lo muestra la figura 45.

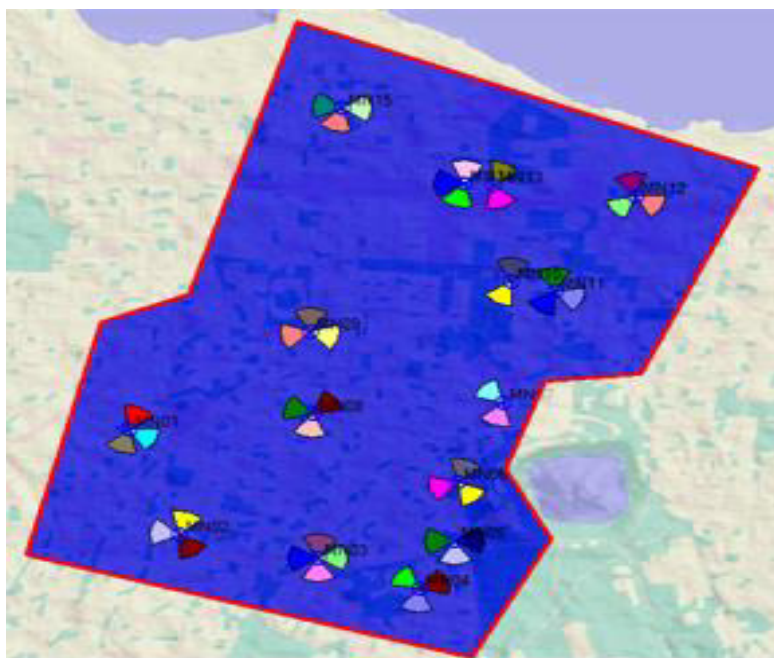


Figura 43. Mapa de Tráfico.

Tabla 21. Parámetros del Evirotments de la ciudad de Managua.

User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
Business User	50km/h	1685
Business User	Fixed	1685
Business User	Pedestrian	5058

Tabla 22. Parámetros de Business User. Elaboración Propia

Service	Terminal	Call/Hour	Duration (Seg)	UL volume (KBytes)	DL volume (KBytes)
High Speed Internet	MIMO Terminal	0.05		2000	15000
Video Conferencing	MIMO Terminal	0.0	600		
VoIP	MIMO Terminal	0.2	400		
Mobile Internet Access	MIMO Terminal	0.1		700	4500

4.5 Simulaciones Monte Carlo.

Las simulaciones de ATOLL corresponden a una foto instantánea de la red para una distribución de usuarios dada. Los principales *outputs* de las simulaciones son la distribución geográfica de los usuarios con sus respectivas demandas de tráfico, la asignación de los recursos a cada uno de los usuarios simulados y las cargas de tráfico de las celdas.

Para las predicciones de calidad de la señal además de crear mapa de tráfico se realizaron 10 simulaciones como lo muestra la figura 46. Con el 70 % de usuario en la red LTE-A que equivale a 8232 usuarios en una red LTE-A de 15 sitios.

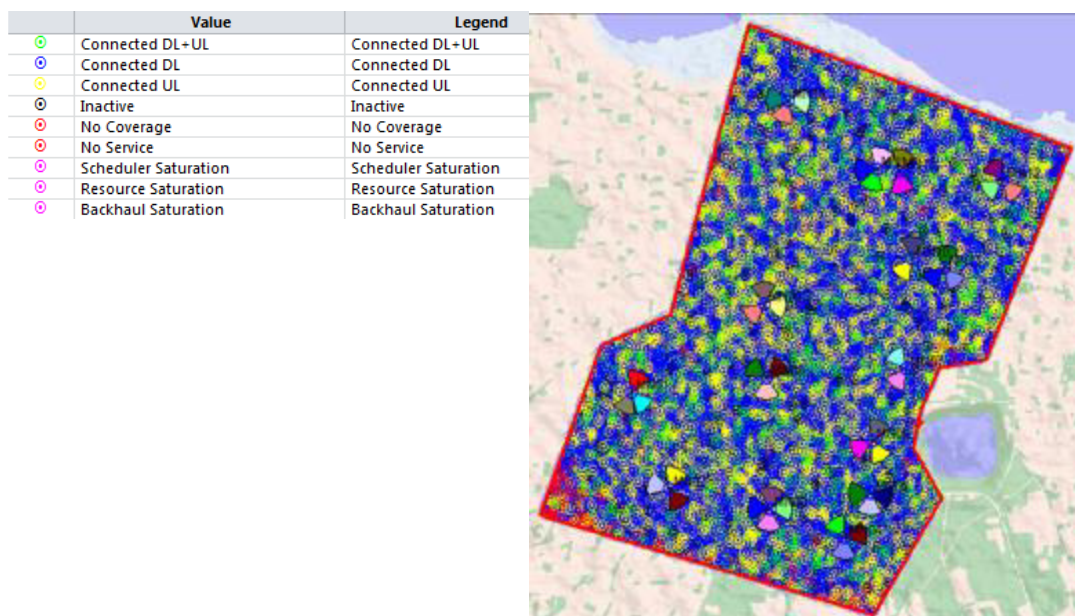


Figura 44. Simulación Monte Carlo. Elaboración Propia.

Coverage by Quality Indicator (DL y UL): Permite calcular y mostrar diferentes indicadores de calidad (BLER, BER, etc.) basados en los Radio Bearers y en los niveles de C/(I+N) de cada píxel [53].

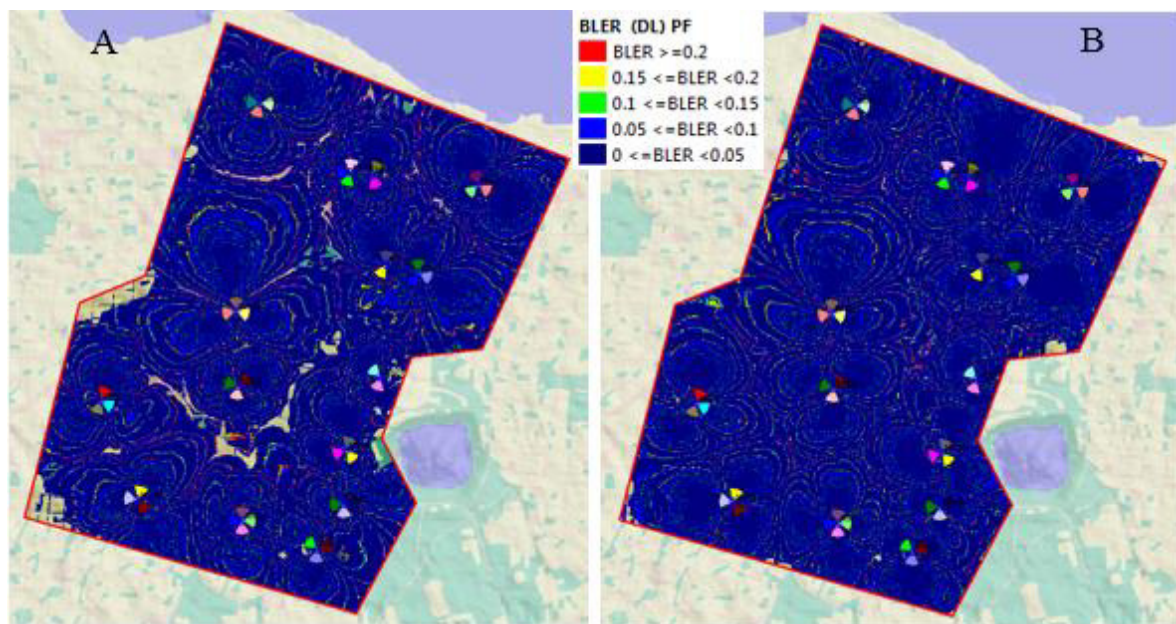


Figura 45. Cobertura por BLER DL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

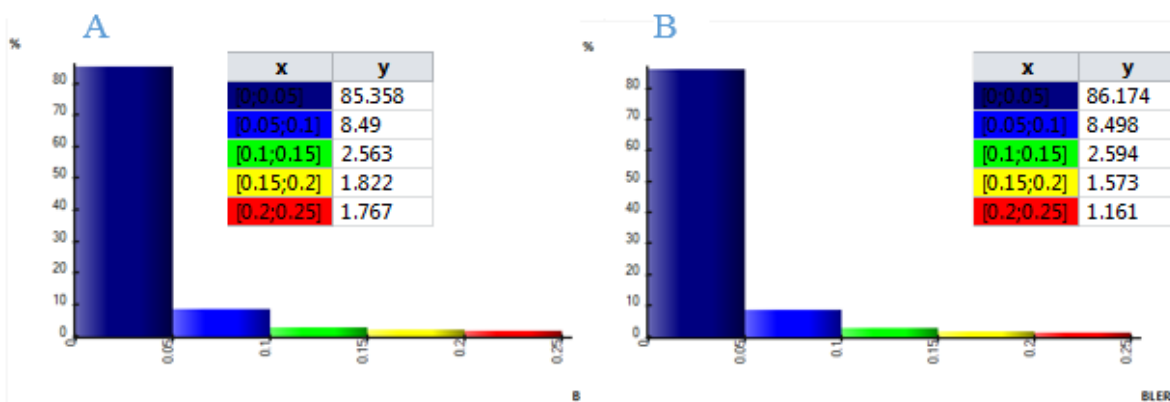


Figura 46. Histograma por porcentaje de BLER DL; (A), antes de la optimización, (B) después de la optimización.

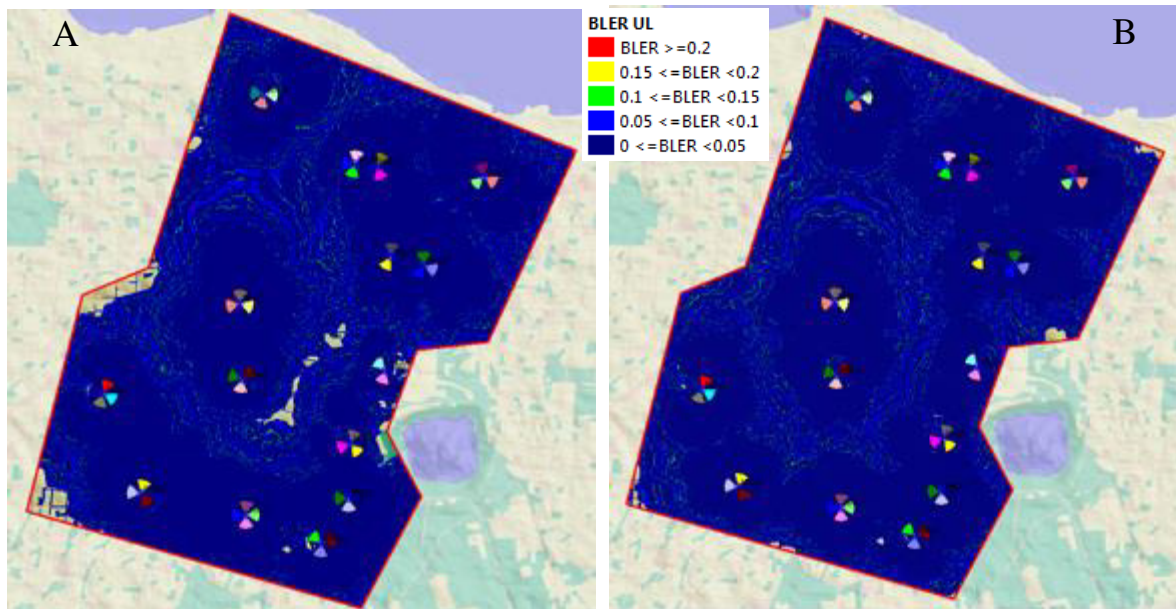


Figura 47. Cobertura por BLER UL: (A) antes de la optimización, (B) después de la Optimización.

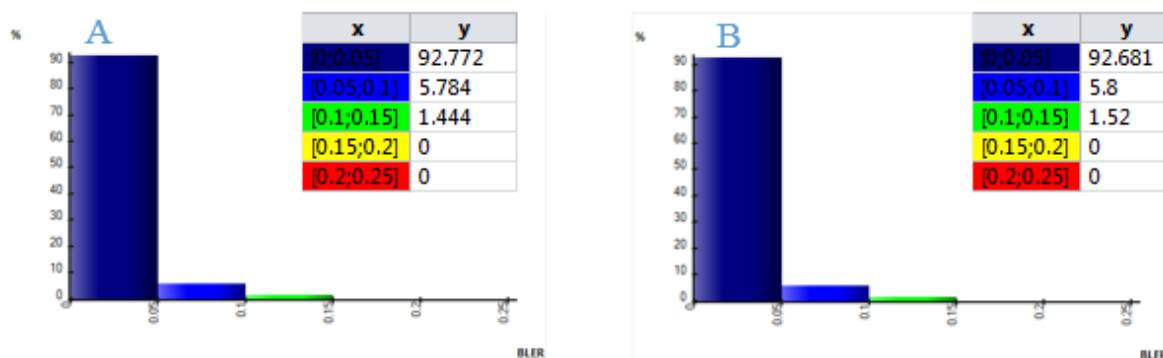


Figura 48. Histograma porcentaje de BLER UL: (A) antes de la Optimización, (B) después de la optimización.

Las figuras 47 y 49 muestran los resultados de BLER, tanto para enlaces de bajada (DL) como de subida (UL) antes y después de la optimización. El área de cobertura que debe cubrir la red es de 6.81 km². Para mantener, un nivel de retransmisiones aceptable el BLER no debe ser mayor a 10% [54].

Antes de la optimización la red cubría el 93% del área de interés y después de la red cubre el 95% del área de interés para el DL llenando así huecos de cobertura como lo muestran las figuras 48 y 50. Para el UL antes de la optimización la red cubre el 97% del

área y después de la optimización cubre el 98% con un BLER < 10% para DL y UL lo que quiere decir el que el SINR es mayor a 15 dB para logra esa tasa de error.

Service Area Analysis (DL y UL): Permite calcular y mostrar los mejores Radio Bearers disponibles para cada píxel del mapa basados en las C/(I+N) de los mismos [53].

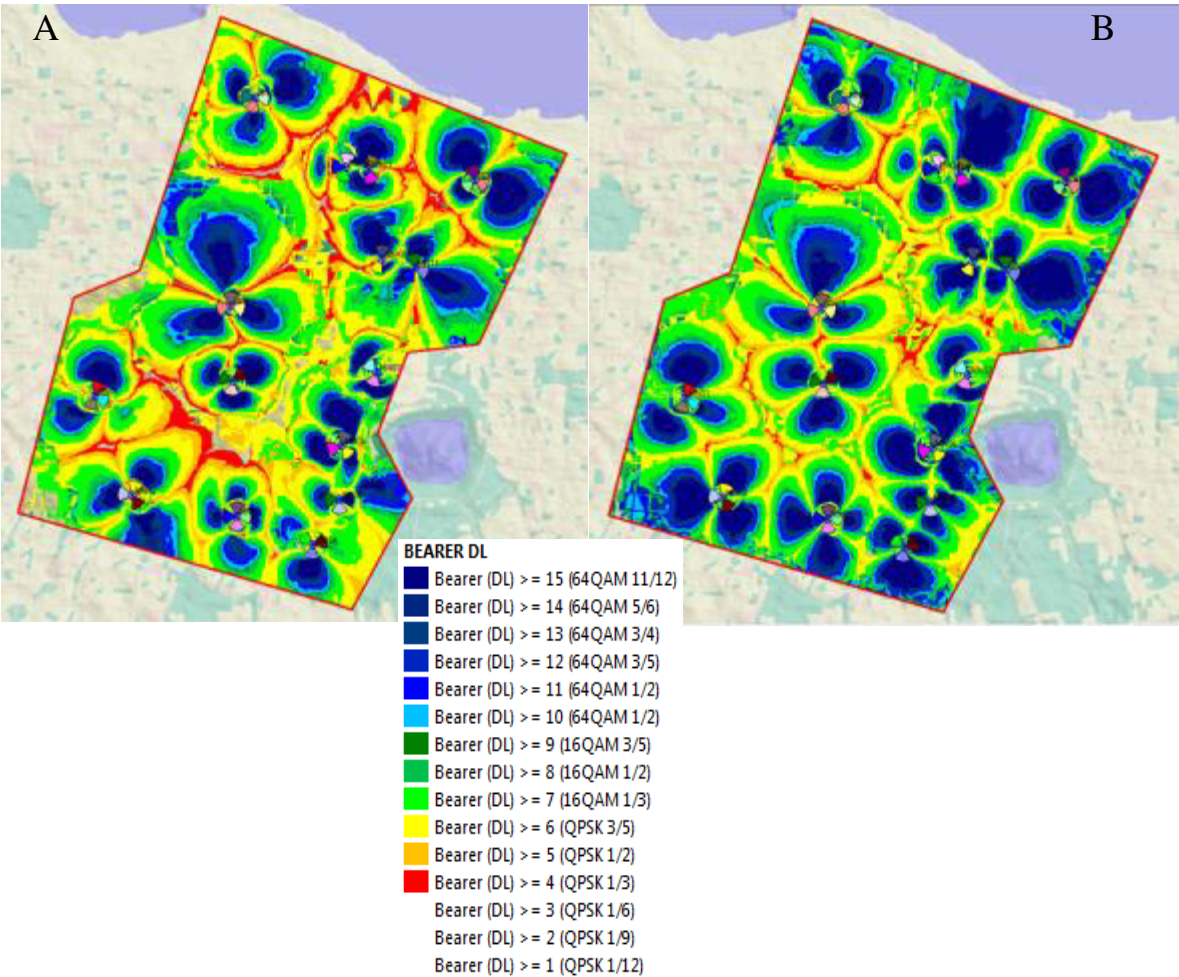


Figura 49. Cobertura por Radio Bearers DL: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

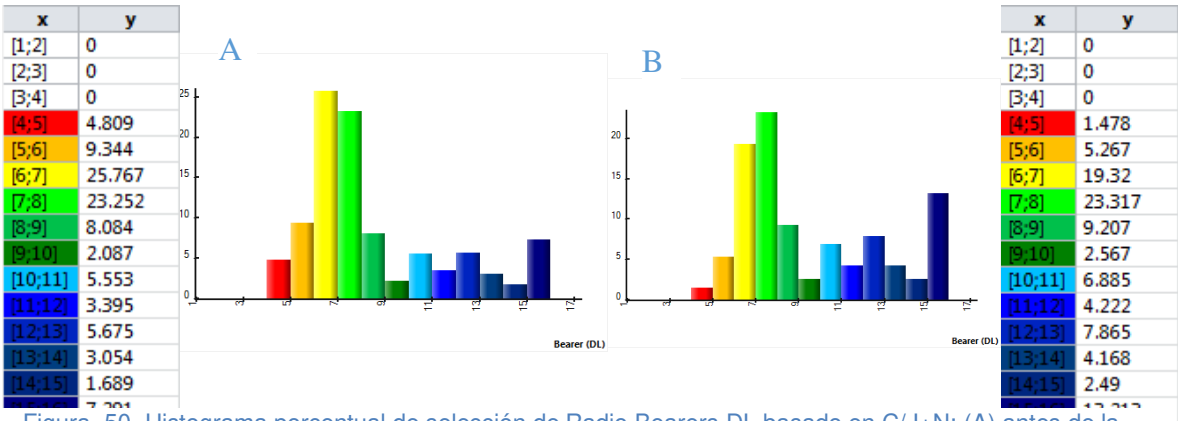


Figura 50. Histograma porcentual de selección de Radio Bearers DL basado en C/ I+N: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

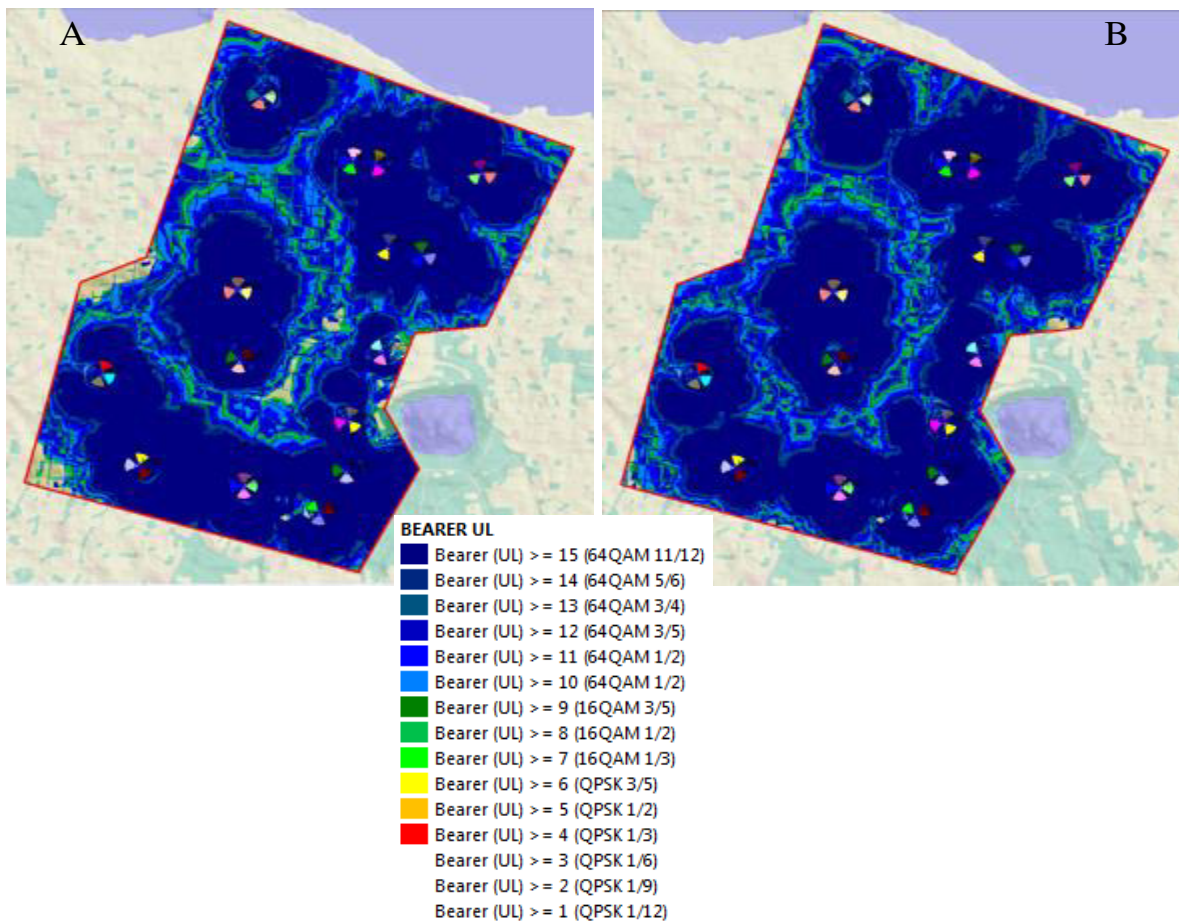


Figura 51. Cobertura por Radio Bearers UL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

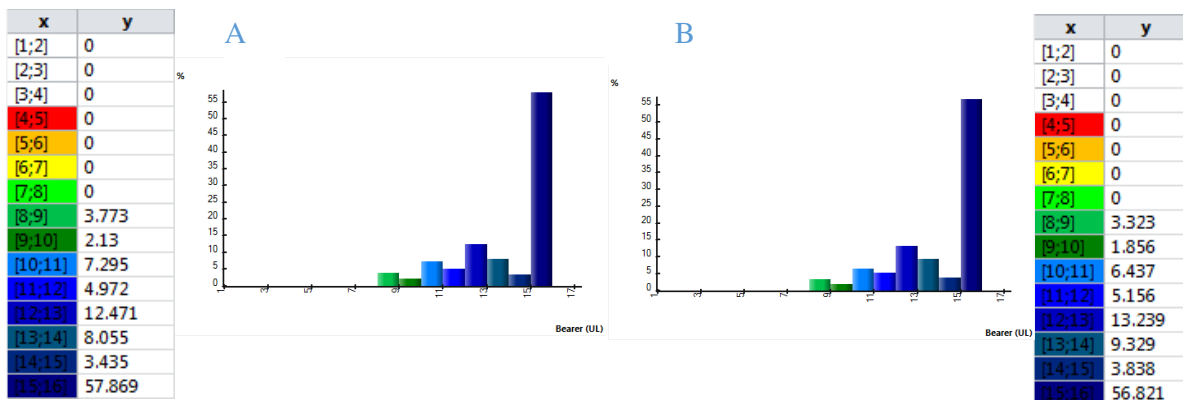


Figura 52. Histograma para el porcentaje de selección de Radio Bearers UL basado en C/I+N: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

La figura 51 y 53 muestra los resultados de la asignación de Radio Bearers del canal de tráfico de DL antes y después de la optimización para la red LTE-A entre más se aproxime el número de Radio Bearers a 15 mayor serán los throughput obtenidos, ellos se enumeran del 1 al 15. Su selección estará en dependencia de la calidad del canal y

cantidad de C/I+N en el canal de bajada. Después de la optimización los porcentajes de Radio Bearers entre [15,16] incremento de 7.29 a 13.21%, para Bearers entre [14,15] incremento de 1.68 a 2.49%. entre [13,14] incremento 3.05 a 4.16%, entre [12,13] incremento 5.67 a 7.86% y para Bearers entre [4,5] disminuyo de 4.80 a 1.47%, entre [5,6] disminuyo de 9.34 a 5.26% y entre [6,7] disminuyo de 25.76 a 19.32% con la optimización además se logramos cubrir huecos de cobertura en el DL Y UL como se puede ver en las figuras 52 y 51.

La figura 53 y 54 muestra los resultados de la asignación de Radio Bearers del canal de trafico de UL para la red LTE-A antes y después de la optimización los cuales no aumentaron significativamente después de la optimización. En el UL la mayor asignación de Bearers es la del número 15 con 57%. Donde aumenta un poquito después de la optimización es en los Bearers entre [14,15] que incremento de 3.43 a 3.83%, entre [13,14] incremento 8.05 a 9.32%, entre [12,13] incremento de 12,47 a 13.23% y entre [11,12] incremento de 4.97 a 5.15%.

Coverage by C/(I+N) Level (DL Y UL): Permite predecir los niveles de interferencia y de portadora a interferencia y ruido C/(I+N) para cada píxel del mapa [53].

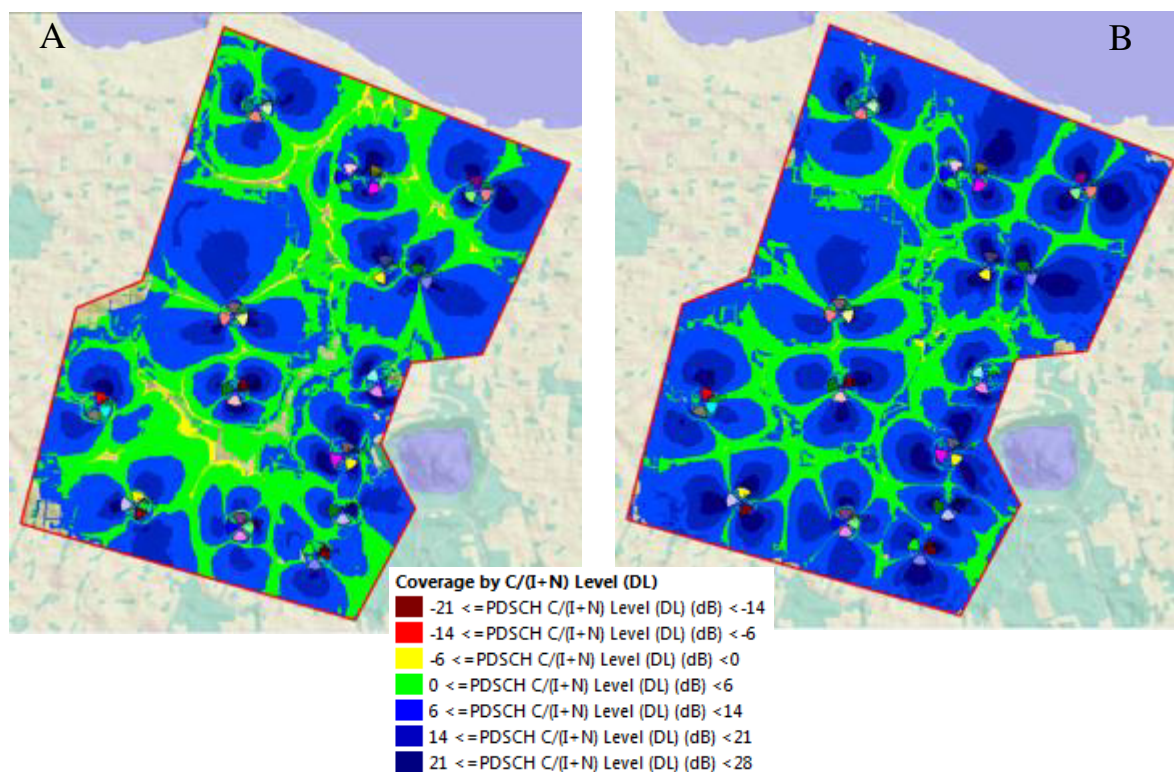


Figura 53. Cobertura por C/ (I+N) en DL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

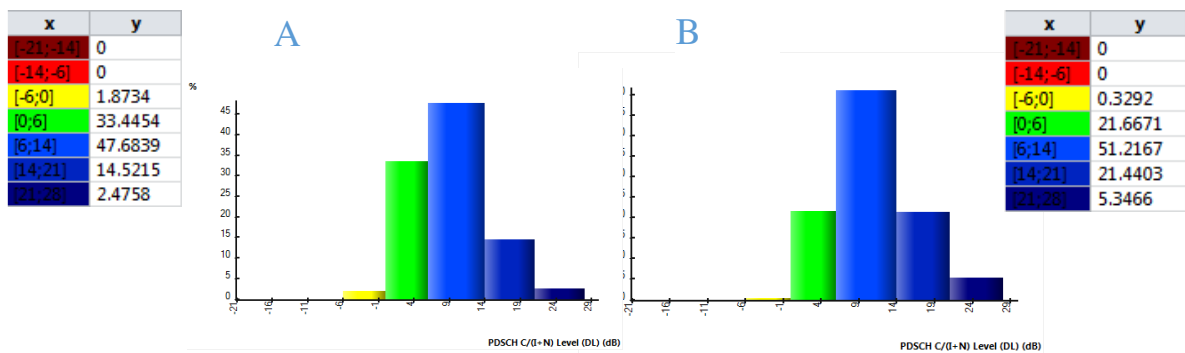


Figura 54. Histograma del porcentaje de C/ (I+N) en el DL: (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

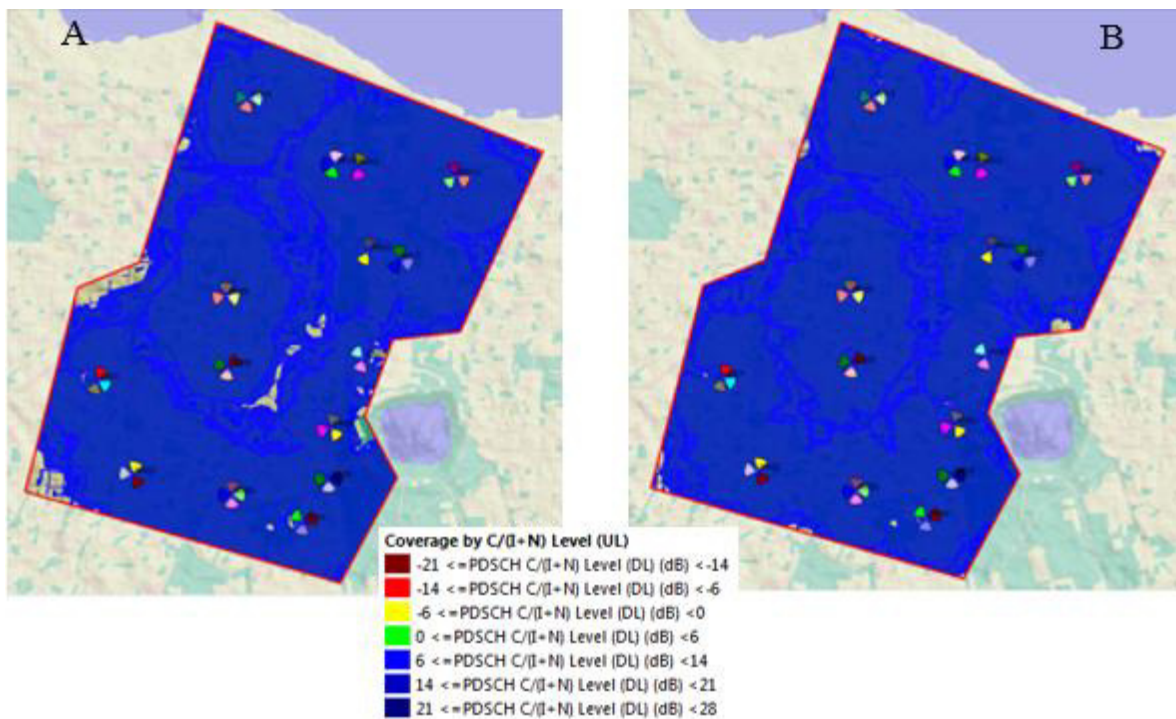


Figura 55. Cobertura por C/ (I+N) en el UL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

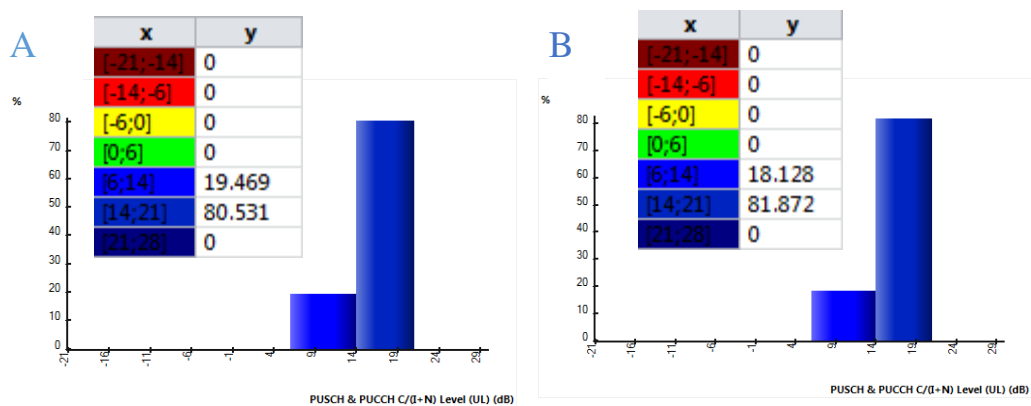


Figura 56. Histograma para el porcentaje de C/(I+N) en UL : (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

$C/(I+N)$ es la relación entre la potencia de la portadora de radiofrecuencia (RF) que lleva la señal deseada y la potencia total de las señales interferentes y el ruido térmico. La figura 55 y 56 muestra los resultados de las predicciones cobertura por $C/(I+N)$ en DL antes y después de la optimización. Cuando se realiza la optimización de la red LTE-A mejoran los niveles, para los rangos de [21,28] incremento de 2.47 a 5.34%, entre [14,21] incremento de 14.52 a 21.44% y para los rangos entre [6,14] incremento de 47.68 a 51.21% entre mayor sea el valor mejor.

Por otro lado, la figura 57 y 58 muestra los resultados de las predicciones cobertura por $C/(I+N)$ en el UL antes y después de la optimización. Para este caso después de la optimización solo incremento el porcentaje para los valores entre [14,21] que paso de 80.53 a 81.87% del área de cobertura. El mal estado de operación de una red con malos niveles de $C/(I+N)$ provocados por indistintos factores pueden afectar muy significativamente la calidad de servicio de la red.

Coverage by Throughput (DL y UL): Permite calcular y mostrar para cada píxel del mapa los Channel Throughput y Cell Capacities basados en los niveles de $C/(I+N)$ y en los Radio Bearers disponibles [53].

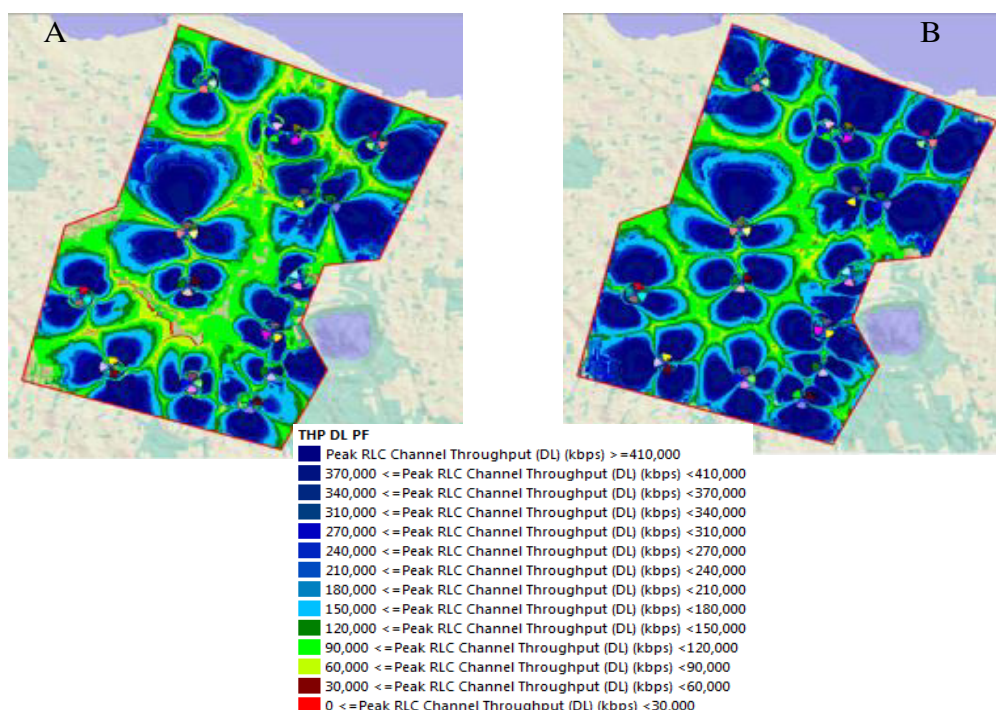


Figura 57. Cobertura por Throughput para el canal RLC en el DL; (A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

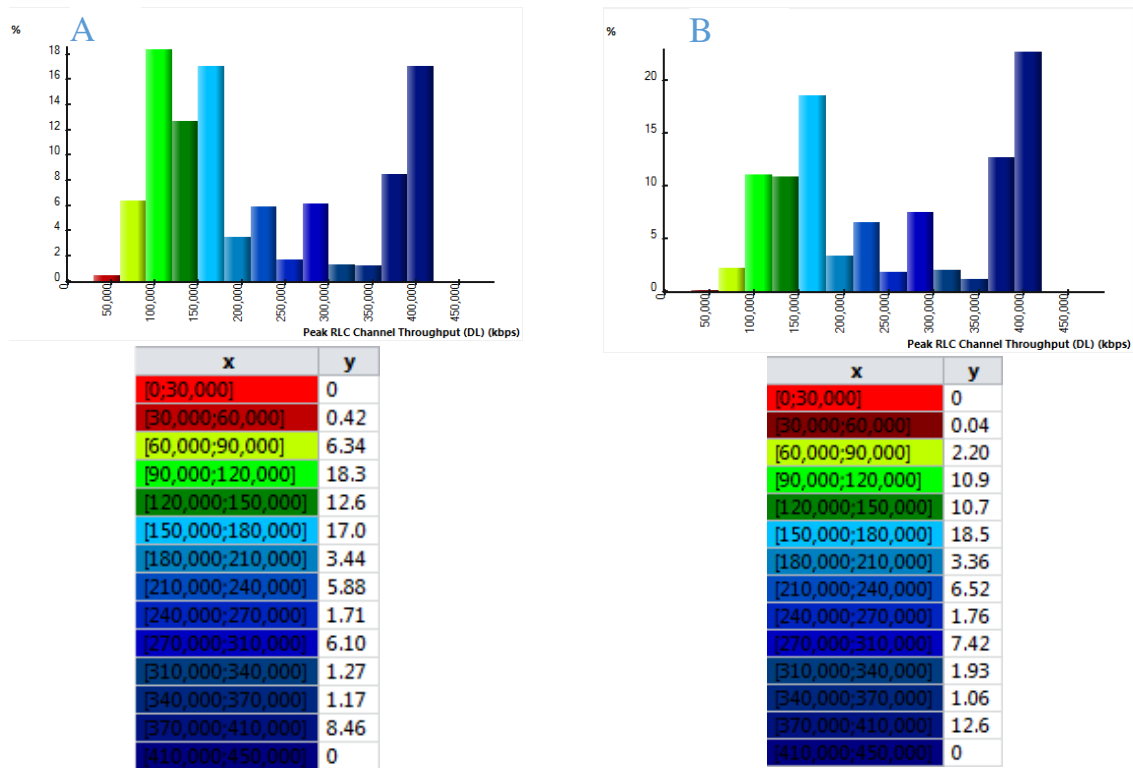


Figura 58. Histograma porcentaje de Throughput para el canal RLC en el DL;(A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

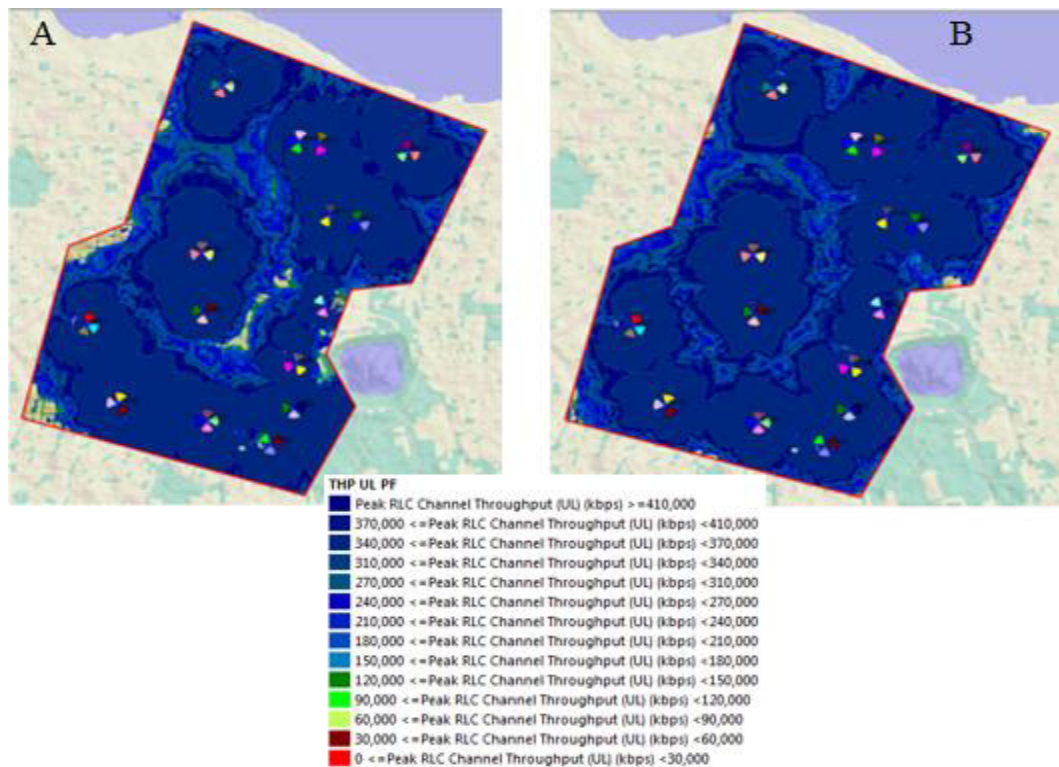


Figura 59. Cobertura por Throughput para el canal RLC en el UL;(A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

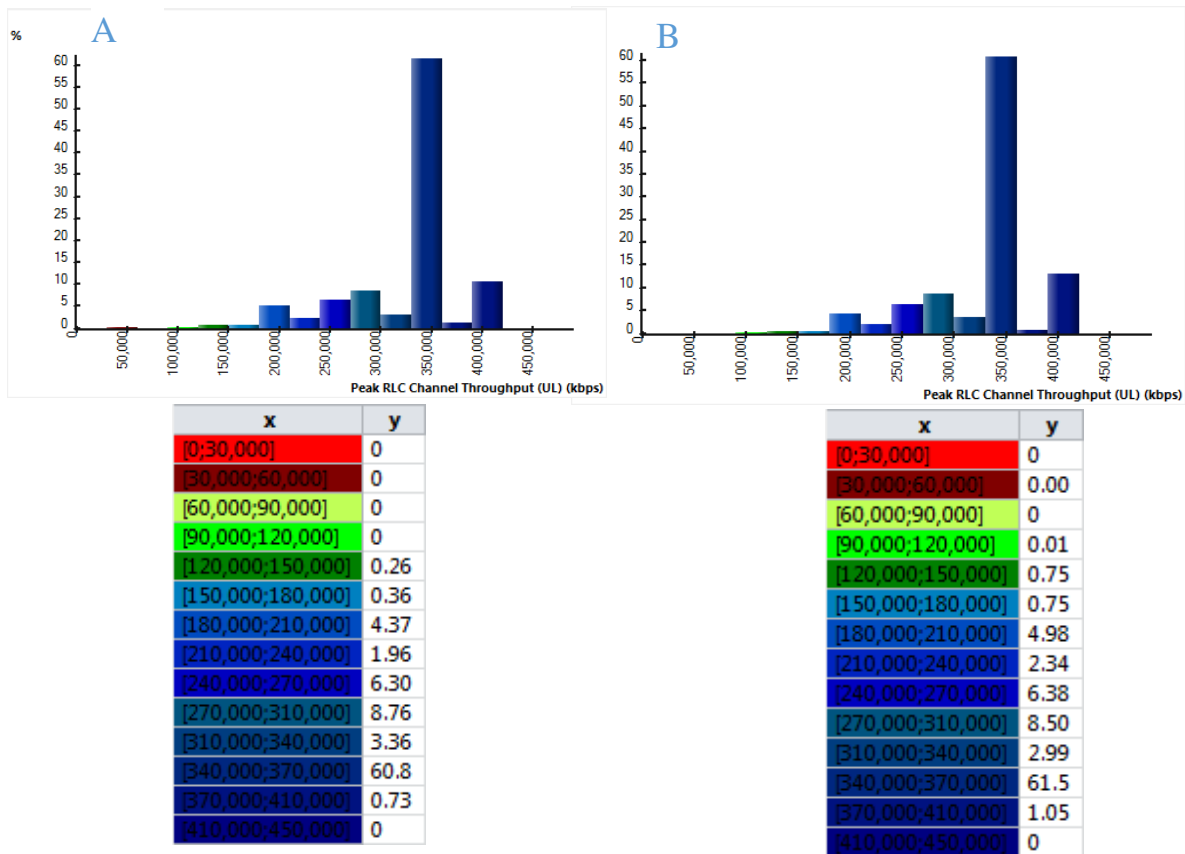


Figura 60. Histograma porcentaje de Throughput para el canal RLC en el UL;(A) antes de la optimización, (B) después de la optimización.

La figura 59 muestra las predicciones de throughput para el canal Radio Link Control (RLC) del DL con y sin optimización. La figura 60 (A) muestra los resultados de la predicción de throughput de DL antes de la optimización, por otra parte, la figura 60(B) muestra los resultados de la predicción de throughput DL después de la optimización ambas predicciones realizadas con el 70% de tráfico en la red LTE-A, con 10 simulaciones Monte Carlo y con 4 portadoras. Como podemos observar en la figura 60 una vez que la red fue optimizada los niveles de throughput menores a 150,000 Kbps se redujo en un 13.82%, el área de cobertura con niveles de throughput entre 210,000-240,000 Kbps incremento de un 5.88% a un 6.52% para velocidades entre 270,000-310,000 Kbps incremento de 6.10% a 7.42% y para velocidades entre 370,000-410,000 Kbps incremento de 8.46% a 12.6%.

La figura 61 muestra las predicciones de throughput para el canal Radio Link Control (RLC) del UL con y sin optimización. por otra parte, la figura 62 muestra los resultados de la predicción de throughput ante y después de la optimización donde para velocidades entre 340,000-370,000 Kbps incremento de 60.8 a 61.5% y para velocidades entre 370,000-410,000 Kbps incremento de 0.73 a 1.05%.

Dicho análisis lleva a la conclusión que la red LTE-A después de la optimización dicha red está funcionando con buena cobertura y calidad ya que la mayoría de los usuarios están navegando con muy buenas velocidades de datos por encima de los 350Mbps tanto para el DL como para el UL.

4.6 Análisis de las estrategias del packet scheduling.

El análisis de las cuatros estrategias del packet Scheduling Proportional Fair, Proportional Demand, Round Robin y Máximum C/I se realizó mediante las predicciones de throughput para el canal Radio Link Control (RLC) de DL y UL que fueron realizadas después de la optimización para cada scheduling, Para dicho análisis utilizamos los mismos parámetros de configuración de red, terminal y carga de tráfico con la única variante que creamos cuatros grupos de 10 simulaciones que corresponde un grupo para cada scheduling.

Como podemos observar en la tabla 23 la estrategia que sobresale en todas las actividades presentes en dicha tabla es el PF ya que a pesar de ser el Sheduler que asigna recurso a mayor número de usuarios se obtienen el porcentaje global más alto de throughput tanto para el enlace de bajada como para el de subida, con un porcentaje global en el DL de 316.13 Mbps, posterior a él le sigue el PD con 189.60 Mbps, luego el Max C/I con 180.52 Mbps y por último el RR con 176.37 Mbps. En el UL de igual forma el PF es el Sheduler con que se obtienen mayores porcentajes de throughput global con 268.77 Mbps, luego el Max C/I 251.79 Mbps, luego el RR con 249.33 Mbps y por último el PD con 247.28 Mbps.

Estadísticas de simulación para cada Scheduler ver tabla 23.

Tabla 23. Estadísticas de simulación para cada sheduler.

Activity	PF	PD	RR	MAX C/I
Active Users	2903	2831	2877	2787
Active DL	1656	1601	1626	1578
Active UL	948	912	898	894
Active DL + UL	299	318	353	315
Inactive	156	169	160	149
Total Users	3059	3000	3037	2936
No Coverage	106	64	79	73
No Service	0	7	11	9
Scheduler saturation	0	0	0	0
Resource Saturation	0	0	0	0
Overall Percentage Peak RLC Channel Throughput (DL)	336.13 Mbps	189.60 Mbps	176.37 Mbps	180.52 Mbps
Overall Percentage Peak RLC Channel Throughput (UL)	268.77 Mbps	247.28 Mbps	249.33 Mbps	251.79 Mbps
Max Peak RLC Channel Throughput (DL)	410 Mbps	410 Mbps	410 Mbps	410 Mbps
Min Peak RLC Channel Throughput (DL)	60Mbps	30Mbps	30Mbps	30Mbps
Max Peak RLC Channel Throughput (UL)	410 Mbps	370 Mbps	370 Mbps	370 Mbps
Min Peak RLC Channel Throughput (UL)	120 Mbps	60Mbps	60Mbps	60Mbps

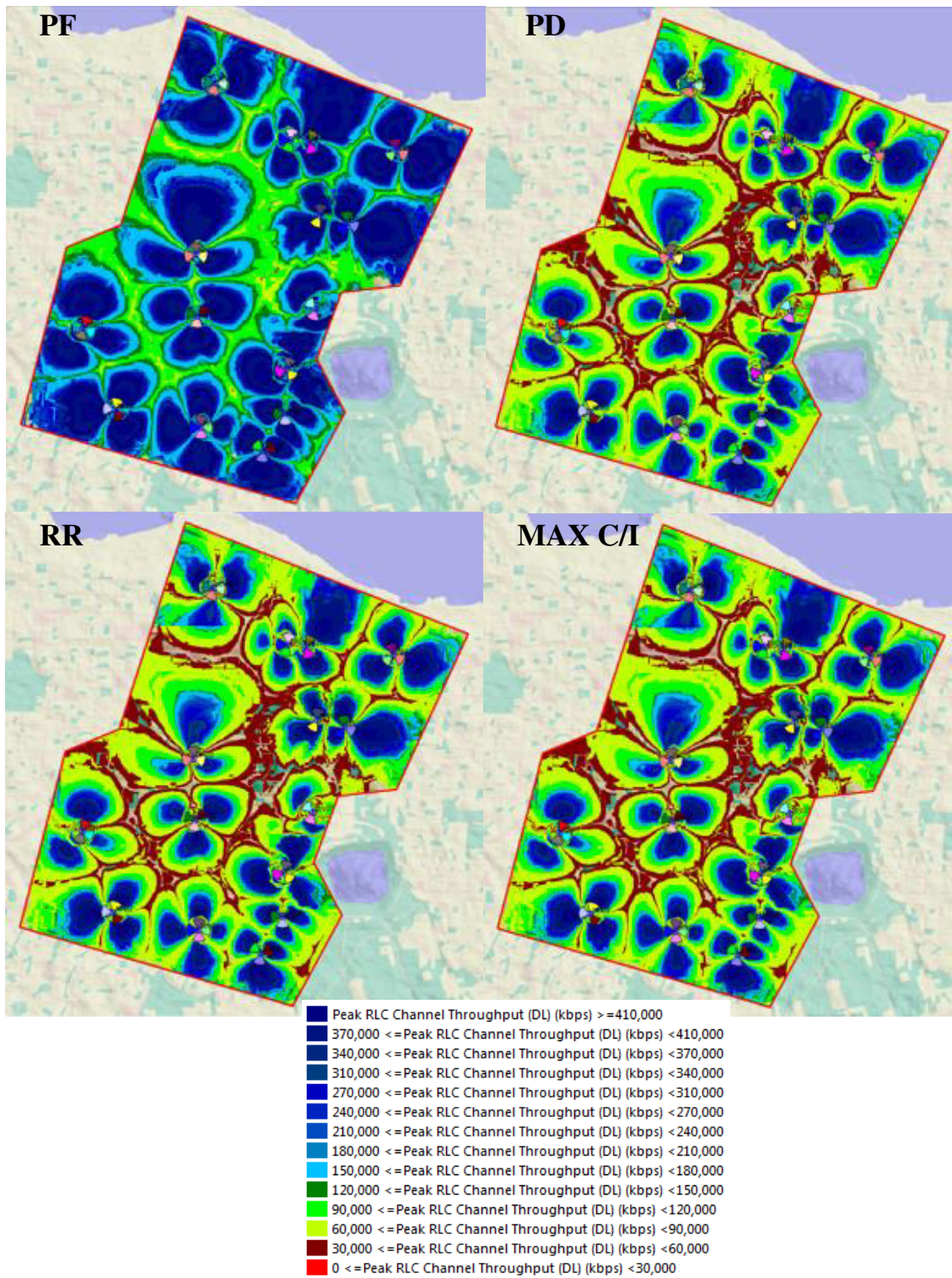


Figura 61. Cobertura por Throughput para el canal RLC en el DL con los 4 Scheduling; PF,PD,RR y MAX C/I

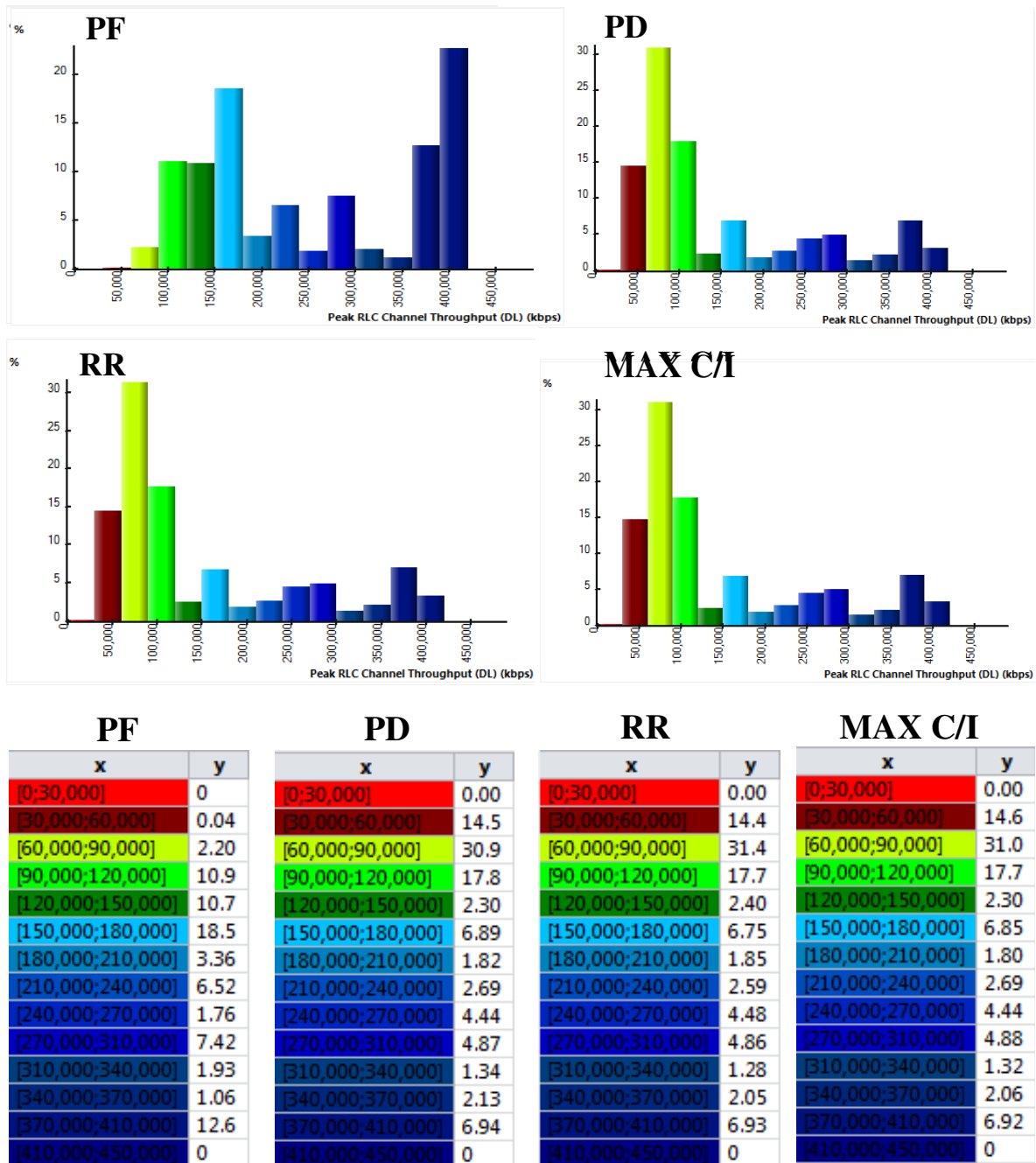


Figura 62. Histograma cobertura por Throughput para el canal RLC en el DL con los 4 Scheduling; PF, PD, RR Y MAX C/I

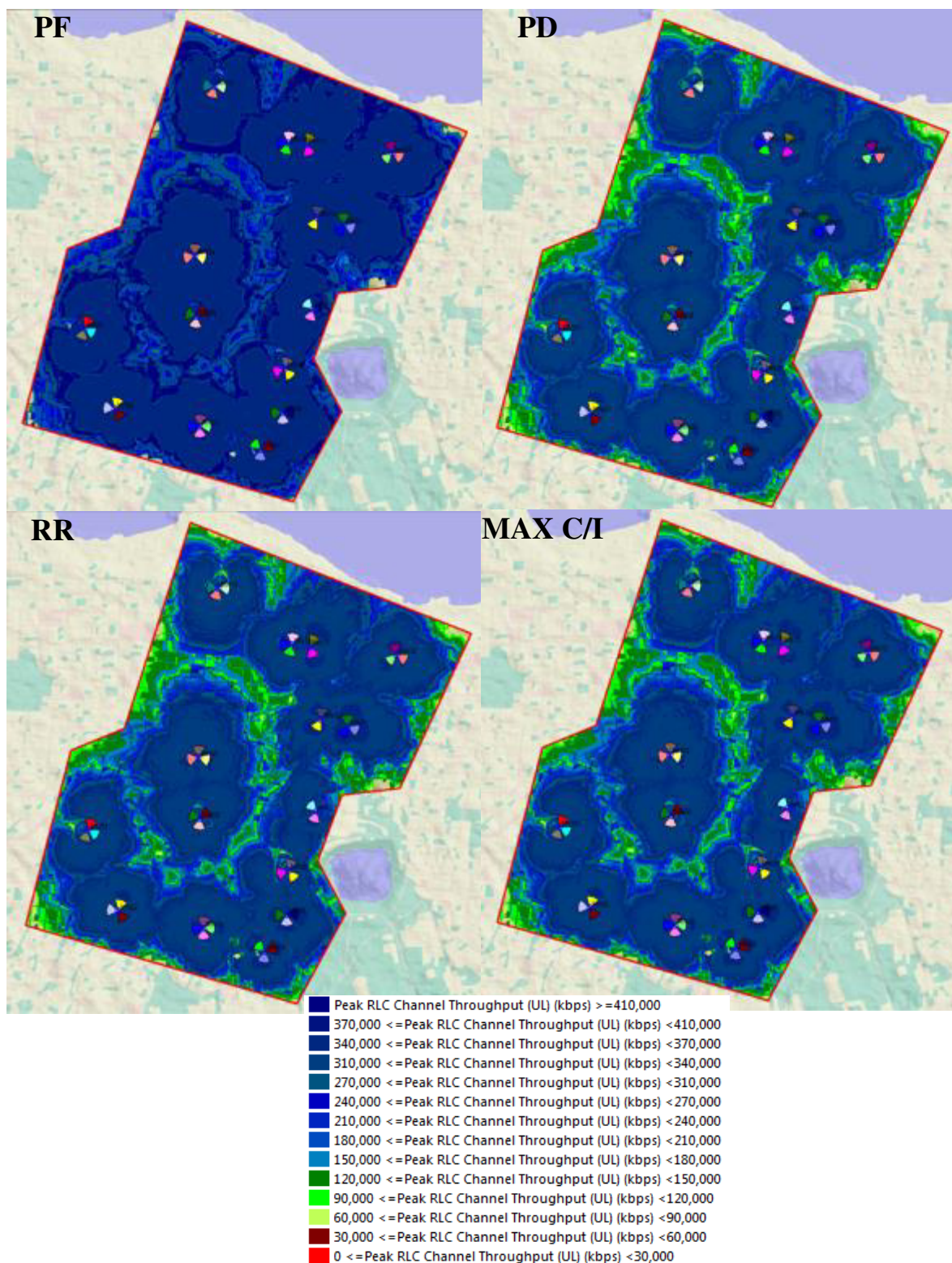


Figura 63. Cobertura por Throughput para el canal RLC en el UL con los 4 Scheduling; PF, PD, RR Y MAX C/I.

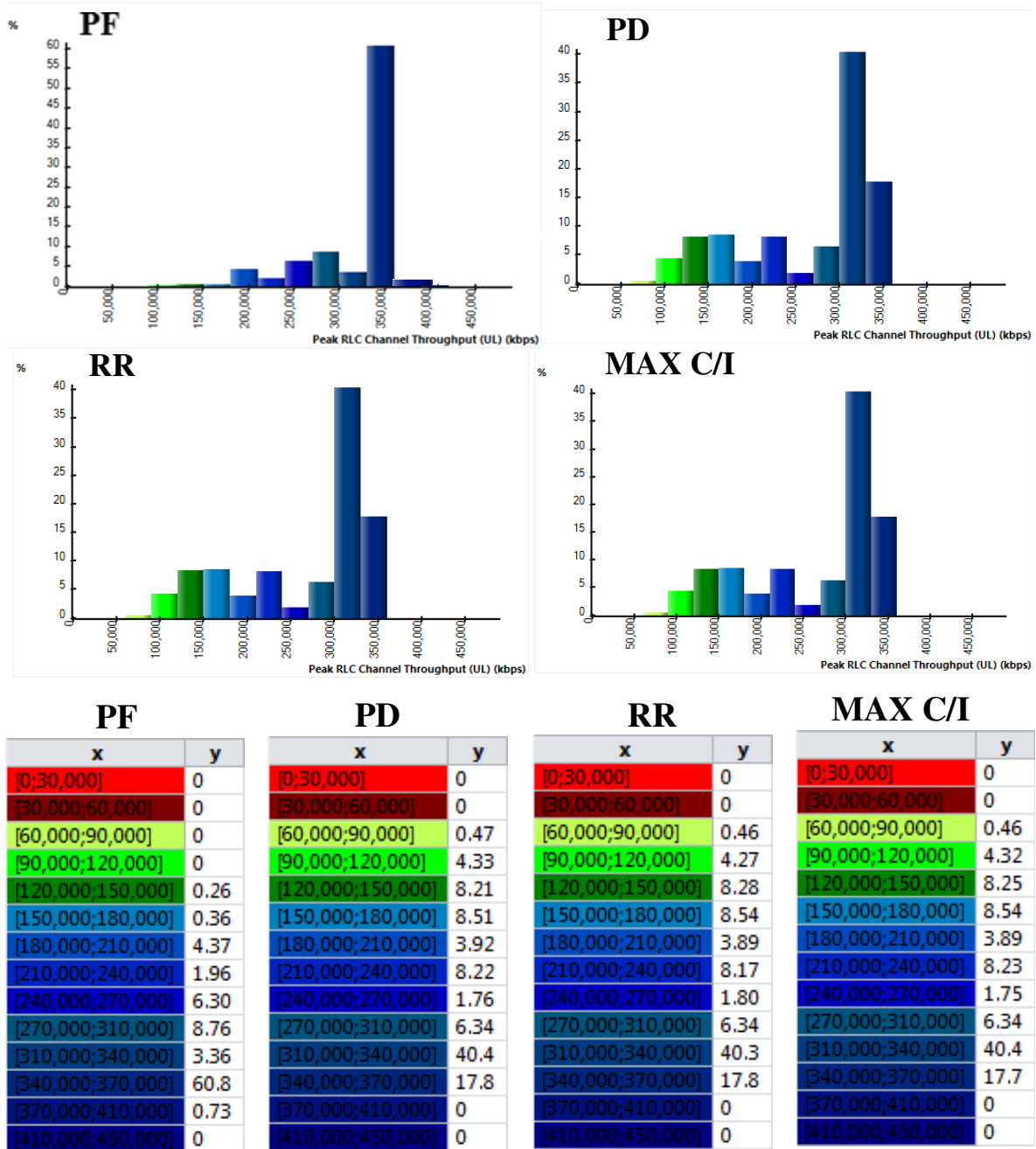


Figura 64. Histograma por cobertura throughput para el canal RLC en el DL con los 4 scheduling; PF, PD, RR Y MAX C/I.

La figura 64 y 66 demuestran que el Sheduler con se obtienen mayores velocidades de throughput es el PF tanto para el DL como para el UL. Con el PF se obtuvo un porcentaje en el DL del 12.6 % para velocidades entre [370;410 Mbps], mientras que con el PD se obtuvo el 6.94 %, en el RR se obtuvo el 6.93% y con el Max C/I se obtuvo el 6.92 %. Con el PF la menor velocidad de throughput en el DL que se obtiene es de 60 Mbps con el 2.20 % de cobertura, mientras que el con el PD, RR Y Max C/I la menor velocidad que se obtiene es de 30 Mbps con arriba del 14% del área de cobertura.

De igual forma para el enlace de subida UL el PF es el único Sheduler con se obtienen velocidades de 410 Mbps, además para las velocidades entre [340;370Mbps] con el PF se obtiene un 60.8% del área de cobertura mientras que, con el PD solo se obtiene el 17.8%, con el RR el 17.8% y con el Max C/I el 17.7%. De igual forma es el Sheduler que asigna la cantidad mínima más alta en el UL de 120 Mbps con apenas el 0.26%, mientras que los otros tres Sheduler asignan velocidades mínimas de 60 Mbps. En las predicciones con el PF no existen huecos de cobertura para el área analizada mientras que en los demás si existen huecos de cobertura esto lo podemos apreciar en las figuras 63 y 65.

Estos resultados obtenidos al igual que en el artículo titulado Analysis of the throughput performance for a LTE A network in Managua using the strategies of the Packet Scheduling and frequency bands 1, 2 and 3 FDD [54], dejan más que claro que el Sheduler más adecuado a utilizar en las predicciones y con el que se obtienen mayores velocidades tanto para el DL como para el UL es PF.

5. Conclusiones.

El capítulo II aborda y explica acerca de los requerimientos necesarios para el diseño y planificación de una red LTE-A en Atoll, ya que sin la identificación de los elementos necesarios será imposible un buen diseño y por ende una mala planificación de red.

En el capítulo III de la monografía se logra explicar de forma detallada como calibrar el modelo SPM para la tecnología LTE en la banda 1900 Mhz con el software Atoll. La Calibración del modelo de propagación estándar (SPM) se llevó acabo antes de la optimización y fue utilizado para todas las simulaciones hechas en Atoll, para realizar el análisis del desempeño del throughput mediante predicciones ya que un modelo calibrado permite realizar estimaciones más reales del desempeño de la red.

El capítulo IV aborda acerca de La optimización de la red LTE-A en ATOLL la cual se basó en ajustes de parámetros lógicos y físicos, mediante estos ajustes la red opera con mayor alcance y calidad de servicio. Para la optimización de la red LTE-A se realizaron los dos tipos de predicciones existentes, las que permiten analizar los niveles de la señal y las que permiten analizar la calidad de la señal. Cabe mencionar que todas las predicciones fueron realizadas con el modelo de propagación estándar que fue calibrado anteriormente en el capítulo III.

Las estrategias de packet Scheduling como el Proportional Fair, Proportional Demand, Round Robin y Máximum C/I van de la mano con la calidad que ofrece la red a sus usuarios asignándoles así buenos recursos de radio a medida que estos se despliegan en toda la dimensión de la red. En Atoll se realizaron estos análisis después de la optimización. Los resultados comprueban que el Scheduler con que se obtienen mayores niveles de throughput es el Proporcional fair ya que esta estrategia proporciona equidad entro los UEs mientras maximiza la capacidad del sistema. En el capítulo 4 se muestran claramente los resultados obtenidos del análisis de las estrategias del packet scheduling con el objetivo de comprobar que el Proportional fair es el algoritmo más adecuado a utilizar en las simulaciones y predicciones.

6. Recomendaciones.

1. Se recomienda realizar calibración del SPM a otras bandas de frecuencia en las cuales opera LTE en nuestro país como lo son la banda 1 de 2100 Mhz y la banda 28 de 700 Mhz.
2. En este trabajo monográfico el análisis de las estrategias del packet scheduling se realizó únicamente para una banda de frecuencia la cual es la banda 2 FDD por lo que se recomienda realizar un análisis más profundo para distintas bandas de frecuencias en LTE y LTE-A para seguir comprobando si el Proportional Fair es el algoritmo más adecuado para las simulaciones y predicciones en las distintas bandas de frecuencia donde opera LTE y LTE-A.
3. En el modelado y planificación de redes se recomienda utilizar modelos calibrados para obtener resultados más reales en el desempeño de redes móviles, además se recomienda utilizar el Scheduler PF para la banda de 1900 Mhz modo FDD ya que así el operador tendrá mayor área de calidad de servicio proporcionando a los usuarios mayor área de cobertura con mejores velocidades de descarga y subida.
4. Realizar estudios de comparación con los algoritmos de packet scheduling en ambientes HetNets. Por ejemplo, pueden agregar a la actual lista de planificadores el Maximum Largest Weighted Delay First (MLWDF).
5. Recomendamos calibrar el modelo SPM en una red LTE (TDD).
6. Sugerimos considerar en lugar del throughput otros criterios para evaluar el mejor planificador de tarea. Por ejemplo, Packet Loss Ratio (PLR).

7. Referencias

- [1] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (UIT, 2016). La UIT publica las cifras de 2016 de las TIC. Recuperado de http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2016/30-es.aspx#nogo
- [2] Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR, 2014). Usuarios del servicio de telefonía celular. Recuperado de http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG_ID=47
- [3] Ericsson. (2015). LTE Release 13. Recuperado de <https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/150417-wp-lte-release-13.pdf>
- [4] O.N. Martínez, C. Rodríguez & M. Áreas. Propagation Characteristics of Managua City Based on Standard Propagation Model (SPM) at 850 MHz for 3G-WCDMA Systems. IEEE CENTRAL AMERICA AND PANAMA CONVENTION (CONCAPAN XXXIV), 2014.
- [5] K. García Ruiz, R. Medina y C. Tenorio Zuniga. Análisis técnico de LTE para su implementación en la ciudad de Managua, Nicaragua, 2014.
- [6] K. Arana. Estudio técnico de migración de la red de acceso de la tecnología WIMAX a LTE en la empresa Yota de Nicaragua, 2015.
- [7] Claro (2016). 4G LTE. Recuperado de <http://www.claro.com.ni/portal/ni/sc/personas/movil/4glte/#info-06>
- [8] Movistar (2016). Mapa de cobertura. Recuperado de <http://www.movistar.com.ni/productos-y-servicios/lte-4g/mapa-de-cobertura>
- [9] <http://www.elnuevodiario.com.ni/suplementos/tecnologia/395190-lte-4g-movistar-mas-ciudades/>

- [10] Dahlman, Parkvall & Sköld (2011). 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. AMSTERDAM, BOSTON, HEIDELBERG, LONDON, NEW YORK, OXFORD, PARIS, SAN DIEGO, SAN FRANCISCO SINGAPORE SYDNEY, TOKYO: Editorial ELSEVIER. Recuperado de <https://eclass.teiath.gr/modules/document/file.php/CS226/4G%20LTELTE-Advanced%20for%20Mobile%20Broadband,%20Second%20Edition.pdf>

- [11] Nguyen, Sinh Chuong. (2011). Packet Scheduling for LTE-Advanced. University of Technology, Sydney Faculty of Engineering and IT Centre of Real-Time Information Networks. Recuperado de <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/21880/2/02whole.pdf>

- [12] 4G Américas. (February 2014). 4G Mobile Broadband Evolution 3GPP Release 11 & Release 12 and Beyond. 1-211. Recuperado de http://www.4gamericas.org/files/2614/0758/7473/4G_Mobile_Broadband_Evolution_Rel-11__Rel_12_and_Beyond_Feb_2014_-_FINAL_v2.pdf

- [13] Serra & Marante (2013). "Arquitectura General del Sistema LTE". Recuperado de: <https://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiw1JnUlfzXAhWG8oMKHVvKAZwQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Frevistatelematica.cujae.edu.cu%2Findex.php%2Ftele%2Farticle%2Fdownload%2F106%2F105&usg=AOvVaw3Fw3sUi0ufv4nhCWk-Uq-g>

- [14] Akyildiz, Estevez y Chavarria (2010). The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced. ELSEVIER, 3, 217–244. Recuperado de <http://bwn.ece.gatech.edu/surveys/ltea.pdf>

- [15] Agustí, Bernardo, Casadevall, Ferrús, Pérez-Romero y Sallent. (2010). LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles. Recuperado de http://www.fundacionvodafone.es/sites/default/files/libro_lte.pdf

- [16] 3gpp (2009). "Proposal for Candidate Radio Interface Technologies for IMT-Advanced Based on LTE Release 10 and Beyond (LTE-Advanced)". Recuperado de: http://www.3gpp.org/IMG/pdf/2009_10_3gpp_IMT.pdf

- [17] Jyrki T. J. Penttinen. "THE LTE-ADVANCED DEPLOYMENT HANDBOOK". WILEY,2016

- [18] M.Kottkamp; A. Roessler & J. Schlien. (2012). LTE-Advanced Technology Introduction, 1-41. Recuperado de https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma169/1MA169_3e_LTE-Advanced_technology.pdf

- [19] Jachang Ma. (12 de mayo 2014). LTE Network Desing Toll- Atoll. Diapositiva. Taiwam. Recuperado de: https://es.slideshare.net/JaChangMa?utm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=ssslideview

- [20] Y.Yuan(2013). LTE Advanced Relay Tecnology and Standarization. Recuperado de: <http://www.mediafire.com/file/a9ag00q5ckabah0/LTE-Advanced+Relay+Technology+and+Standardization.rar>

- [21] Chuong (2011). Packet Scheduling for LTE-Advanced. Recuperado de <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/21880/2/02whole.pdf>

- [22] Parkvall et al.(2009). LTE-Advanced – Evolving LTE towards IMT-Advanced. Recuperado de <https://bwn.ece.gatech.edu/ltea/papers/lte-advanced-features.pdf>

- [23] K. N Shantha Kumar; Madhu Kata; Paruchuri Chaitanya & Dinesh Mukkollu. (2009). LTE-Advanced: Future of Mobile Broadband. Ruperado de http://www.tcs.com/SiteCollectionDocuments/White%20Papers/EIS_Whitepaper_LTE_Advanced_Future_of_Mobile_broadband_09_2009.pdf

- [24] Qualcomm Incorporated (2013). Lte advanced An evolution built for the long-haul. Recuperado de: <https://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiPic7xk9jVAhUHJCYKHZ0YCFIQFggnMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.qualcomm.com%2Fmedia%2Fdocuments%2Ffiles%2Flte-advanced-an-evolution-built-for-the-long-haul.pdf&usg=AFQjCNGe58yG5gEisBgXJMOxGTNyvsd4zQ>
- [25] N. Vilchez e I. Garcia. “Trabajo monografico: Diseño de una estacion base para su integracion en una red celular basadas en las tecnologias GSM/UMTS”. Managua, 2014.
- [26] J. Garzón y R. Camargo. “ESTUDIO DE COBERTURA DE LA RED DE LTE EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO BOGOTÁ DE LOS OPERADORES CLARO, MOVISTAR Y TIGO”. BOGOTÁ 2015.
- [27] ETSI TS 136 104 V11.2.0 (2012-11). “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 11.2.0 Release 11)”.
- [28] A. Escudero, J. Torres y E. Pietrosevoli. “Antenas y Cables”. Octubre 2007.
- [29] ETSI TS 125 401 V4.2.0 (2001-09). “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); UTRAN Overall Description (3GPP TS 25.401 version 4.2.0 Release 4)”.
- [30] S.Dardouri & R.Bouallegue. Vol: 8,(2014). “Comparative Study of Scheduling Algorithms for LTE Networks”. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/0066/f8fd9b31cac4430bb9da6557b6a9978ea876.pdf>

- [31] G.Cristina(2012). PLANIFICACION DE UNA RED LTE CON LA HERRAMIENTA ATOLL Y ANALISIS DEL IMPACTO DE LAS ESTRATEGIAS DE PACKET SHEDULING.(trabajo de grado, Universidad Católica Andrés Bello. p.63, febrero 2012. Recuperado de: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7482.pdf>

- [32] Moosavi et al. (2010). Comparison of Strategies for Signaling of Scheduling Assignments in Wireless OFDMA. Recuperado de <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:337825/FULLTEXT01.pdf>

- [33] Forsk. (2011). Atoll User Manual Radio version 3.1.0.Recuperado de: http://www.forsk.com/automne_modules_files/standard/public/p11_72d27c bc6a0a4410fe3cb1ca439f5dd2Atoll331-light.pdf

- [34] Tobias Bandh, Georg Carle, Henning Sanneck.(2009). Graph coloring based physical-cell-ID assignment for LTE networks. International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing, Pages 116-120. Doi: <https://doi.org/10.1145/1582379.1582406>

- [35] Diaz P, Urbano P, Quintero V. (2012). Comtet, IV Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones. Estrategias de Mitigacion de Interferencias en una red LTE. Pages 249-253. Recuperado de: <http://www.comtel.pe/comtel2012/callforpaper2012/P18T.pdf>

- [36] G.José y V.Norman (2017). CALIBRATION OF THE STANDARD PROPAGATION MODEL (SPM) IN A LTE NETWORK FOR MANAGUA.

- [37] ETSI TS 136 101 V10.3.0 (2011-06) LTE;Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);User Equipment (UE) radio transmission and reception(3GPP TS 36.101 versión 10.3.0, Release 10, pp.17-18, Junio 2011
Recuperado de:http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.03.00_60/ts_136101v100300p.pdf

- [38] web reference: <http://manualzz.com/doc/18702718/product-specifications-hbxx-6516ds-vtm->
- [39] Perez C., Zamarillo J., Casanueva A.(2007). Sistemas de Telecomunicaciones. Recuperado de: https://books.google.com.ni/books?id=y5s3XlaE46UC&pg=PA438&dq=modelos+de+propagacion&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=modelos%20de%20propagacion&f=false
- [40] Oriol Sallent Roig, José Luis Valenzuela González, Ramon Agustí Comes (2003). Principios de Comunicaciones Móviles. Recuperado de: https://books.google.com.ni/books?id=GAf5BKJOfUwC&pg=PA55&dq=modelos+de+propagacion&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=tipos%20de%20modelos%20de%20propagacion%20&f=false
- [41] Cristian Correa, Rodrigo Godoy , Walter Grote, Manuel Orellana (2005). EVALUACIÓN DE ENLACES INALÁMBRICOS URBANOS USANDO PROTOCOLO IEEE 802.11b. vol. 13 N° 3 ,pp. 38-44. Recuperado de: <http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v13n3/art06.pdf>
- [42] H, Parsian. —Comparison of Asset and Atoll Cellular Planning Tools for LTE Network PlanningII, AALTO UNIVERSITY-2012
- [43] M.Suneetha Rani, Subrahmanyam VVRK Behara, K.Suresh. Comparison of Standard Propagation Model (SPM) and Stanford University Interim (SUI) Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE). Department of ECE, Chaitanya Engineering College Visakhapatnam, A.P. INDIA. ISSN: 2278-7844, INDIA 2012.
- [44] C, Haslett, “Essentials of Radio Wave Propagation” Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York 2008.
- [45] Kiran J. Parmar , Dr. Vishal D. Nimavat (2015). Comparative Analysis of Path Loss Propagation Models in Radio Communication. Vol. 3. Pp.840-

844. Recuperado de:
https://www.ijircce.com/upload/2015/february/62_COMPARATIVE.pdf

- [46] E. Pérez Molina., M. Munguía Mena (S.f). Evaluación de una red LTE-advanced utilizando para el despliegue infraestructura gubernamental en Estelí, Nicaragua.
- [47] F. Ramos. (2011, agosto 6). Pérdidas en obstáculos. Retrieved from Radio enlaces: <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>
- [48] Measurement module ATOLL 3.1.2. Forsk 2012.
- [49] Atoll 3.3.2 Model Calibration Guide. Forks (October 2016).
- [50] <http://www.ntsireless.com/home/drive-testing/>
- [51] about, «about,» [En línea]. Available:
<https://www.aboutespanol.com/parametros-reales-para-identificar-gamas-de-los-celulares-580836>. [Último acceso: 11 agosto 2017].
- [52] ASCOM. "Tems Investigations the industry-leading air interface test tool".
- [53] Forks. (2011, Mayo 12). Technical Reference Guide. Chicago : Forks.
- [54] 3GPP TR 36.824 V11.0.0, "Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA); LTE coverage enhancements," TSG RAN
- [55] X. Romero. J.M. Gómez & N Vargas (2017). Analysis of the throughput performance for a LTE A network in Managua using the strategies of the Packet Scheduling and frequency bands 1, 2 and 3 FDD

Anexos

NOMBRE DEL SITIO		ID SITIO:		FECHA DE VISITA:		
ITEM	DATO A RECOPILAR	CHEQUEO	Latitud brindada:		Latitud Encontrada:	
1	Coordenadas del sitio tomadas debajo de la torre.		Longitud brindada:		Longitud Encontrada:	
2	Dirección Exacta de la Torre, sin referencias de Iglesias ni escuelas					
3	Tipo de estructura		Torre autosoportada:	Torre ventada:	Monopolo:	Poste concreto:
4	Altura de la torre , poste de concreto o Monopolo.		Altura	H:		
5	Altura a la que se encuentran las antenas GSM por sector, si se encuentran instaladas dos grupos de antenas (850 y 1900) tomar datos de altura de ambos.		Primer Grupo	A:	B:	C:
			Segundo Grupo	A:	B:	C:
6	Azimuth al que se encuentran las antenas GSM por sector.		Azimuth Primer Grupo	A:	B:	C:
			Azimuth Segundo Grupo	A:	B:	C:
7	Azimuth de cada una de las patas de la torre:					
8	Tipo de transmisión:		Enlace microonda:		Fibra Optica:	
9	Tomar el numero de enlaces microonda existentes y su altura.		Enlaces	h1:	h2:	h3:
				h4:	h5:	h6:
10	Verificar espacios a 36 y 24 metros o a la altura que halla espacio en la torre.		Alturas	36m:	24m:	otra Altura:
11	ELABORADO POR					

12	INICIO Y FIN DE PUEBLO		Latitud inicio Pueblo:		Latitud fin Pueblo:	
			Longitud Inicio Pueblo:		Longitud fin Pueblo:	